UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA DELL'INFORMAZIONE
CORSO DI LAUREA TRIENNALE IN INGEGNERIA BIOMEDICA

RELAZIONE DI TIROCINIO LUNGO

UTILIZZO DI SOFTWARE LABVIEW PER LA REALIZZAZIONE DEL SISTEMA DI CONTROLLO DEI FORNI DI PRODUZIONE DEL PROGETTO SPES

LAUREANDA
Bindi Eleonora

RELATORE
Prof.Franco Bombi

CORRELATORI
Dott.Alberto Andrighetto
PI.Mauro Giacchini

Anno Accademico 2008/09

Atoms like incense rising, like a
Thousand candles all blown out at once.
(Arcturus, The Chaos Path)

Sommario

Introduzione *1*

Capitolo 1 - Il Progetto SPES ai Laboratori Nazionali di Legnaro *3*

1.1 Introduzione **3**

1.2 Il progetto SPES **7**

1.2.1 L'acceleratore primario 7

1.2.2 Il target di produzione ed il sistema di estrazione e ionizzazione 8

1.2.3 Separatori elettromagnetici e post accelerazione 14

1.3 Applicazione dei fasci di ioni esotici **16**

1.3.1 Applicazioni in fisica nucleare (1) 16

1.3.2 Applicazioni in fisica dello stato solido 18

1.3.3 Applicazioni mediche 19

1.3.3.1 la Tomografia ad Emissione Positronica (6) 19

1.3.3.2 La terapia per la Cattura Neutronica nel Boro(BNCT) (10; 11) 21

1.3.4 Applicazioni in astrofisica (1) 22

1.4 Conclusioni **23**

Capitolo 2 - I forni di produzione nel progetto SPES *25*

2.1 Sviluppo dei dischi del target (7) **25**

2.2 I Forni di Produzione (18) **26**

2.2.1 Componenti 27

Capitolo 3 - Il sistema di controllo: LabVIEW *29*

3.1 Il sistema di controllo SPES (19) **29**

3.2 LabVIEW (20) **30**

3.2.1 Macchine a stati 32

3.2.2 Property node 33

3.2.3 Measurement & Automation Explorer 33

3.2.3.1 Data Neighborhood 34

3.2.3.2 Devices and Interfaces 34

3.2.3.3 Scales 34

3.2.3.4 Software 34

3.3 Interfaccia LabVIEW-EPICS (21) **35**

3.3.1 L'interfaccia Shared Memory 35

3.3.2 Integrazione della Shared Memory attraverso IOC EPICS 36

3.3.3 Integrare la Shared Memory con LabVIEW 37

3.3.4 Conclusioni 37

Capitolo 4 - Il sistema di controllo dei forni *39*

4.1 Introduzione **39**

4.2 Calcolo della conducibilità (23) **40**

4.2.1 Metodo di calibrazione della termocoppia 41

4.2.2 Realizzazione del software 43

4.2.2.1 Conductivity.vi 43

4.2.2.2 2pyros_conductivities.vi 44

4.2.2.3 Programma Principale: Prototype_CFP_conductivity.vi 46

4.2.2.4 StoreMeasuresTwoPyros_conductivity.vi. 50

4.2.3 Conclusioni 51

4.3 utilizzo di due alimentatori (camera/linea) 52
Installazione e configurazione 52
4.3.1 Controllo da remoto 53
4.3.2 Realizzazione del software 55
4.3.2.1 Gbl_VISA_Res_Names2.vi 55
4.3.2.2 SetVI_SecondLambda.vi 55
4.3.2.3 Gbl_Ramps2Lambda.vi 56
4.3.2.4 RampExtractor2Lambda.vi 56
4.3.2.5 StoreMeasuresTwoPyros2Lambda.vi 56
4.3.2.6 RampsCheck2Lambda.vi 56
4.3.2.7 Prototype_CFP_2_lambda.vi 56
4.4 Possibilità di operare senza termocoppia 58
4.4.1 Realizzazione del software 59
4.4.1.1 Gbl_thermocouple.vi 59
4.4.1.2 Prototype_CFP_2_Lambda.vi 59
4.5 Conclusioni 62
Capitolo 5 - Sviluppo del sistema di controllo del Front End SPES 65
5.1 Introduzione 65
5.2 Realizzazione del software 66
5.3 Ciclo di controllo 67
5.4 Uscita dal programma: stop button e controllori correlati 67
5.5 Operazioni iniziali 69
5.5.1.1 StoreLogBookFE.vi 69
5.5.1.2 StoreMeasuresFE.vi 70
5.6 Operazioni sul target 70
5.6.1.1 TARGET– put desired inputs-epics.vi 72
5.6.1.2 TARGET– receive-epics.vi 73
5.7 Operazioni sul deflettore 75
5.7.1.1 DEFLECTOR – write.vi 76
5.7.1.2 DEFLECTOR – read voltage.vi 77
5.8 Operazioni sul tripletto 78
5.9 Operazioni sul Front-End Protonico 78
5.10 Conclusioni 78
Bibliografia 79

Abbreviazioni utilizzate nel testo

CERN	Conseil Europèen pour la Recherche Nuclèaire
ENEA	Ente per le Nuove Tecnologie, l'Energia e l'Ambiente
INFN	Istituto Nazionale di Fisica Nucleare
ISOL	Isotope Separation On-Line
LNL	Laboratori Nazionali di Legnaro
ORNL	Oak Ridge National Laboratory
PET	Positron Emission Tomography
RIB	Radioactive Ion Beams
SPES	Study and Production of Exotic Species

Introduzione

È dagli inizi del ventesimo secolo che la fisica nucleare esplora la natura della materia, affrontando di volta in volta nuove e stimolanti sfide scientifiche e tecnologiche; le ricerche di base e le complesse tecnologie appositamente create per il loro supporto, hanno spesso portato alla nascita di un gran numero di applicazioni nel campo della medicina, dell'industria e della fisica applicata, arrivando in molti casi ad influenzare usi e costumi della società: basti pensare alla nascita del "web" presso i laboratori del CERN.

Nel corso degli anni l'Europa è diventata leader nel campo della ricerca nucleare e sta pianificando, sotto la guida maestra del CERN di Ginevra, la costruzione di una nuova generazione di facility per la produzione di fasci radioattivi, con lo scopo di esplorare la materia esotica e di fornire un valido strumento per applicazioni di tipo medico ed industriale (Capitolo 1). A tale programma partecipa attivamente con il progetto SPES (Study and Production of Exotic nuclear Species) l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) di Legnaro, che prevede la costruzione di una facility per la produzione di fasci di ioni radioattivi ricchi di neutroni (n-rich) e di alta qualità, nel range di massa compreso tra 80 e 160 uma.

La produzione di fasci di ioni radioattivi richiede l'impiego di tecnologie estremamente complesse ed innovative; come sarà descritto dettagliatamente in seguito, il progetto SPES prevede il bombardamento di un bersaglio in carburo di uranio con un fascio di protoni: in modo da generare, tramite una reazione nucleare, specie radioattive all'interno del target. Le particelle radioattive generate vengono successivamente estratte, ionizzate, separate in massa ed accelerate come fascio di ioni radioattivo.

Il cuore della facility è il target in carburo di uranio, che solitamente si presenta come un unico blocco cilindrico racchiuso all'interno di una scatola in grafite; l'idea innovativa introdotta dal progetto SPES è la suddivisione del target in sette dischi opportunamente spaziati; questo consente, a parità di volume, di aumentare la superficie di scambio termico radiativo tra il target e la scatola in grafite che lo contiene: tale particolare è di fondamentale importanza in quanto permette al target di smaltire con maggiore efficienza la potenza termica dissipata dal fascio protonico che lo investe (stimato in circa 8kW).

Gli isotopi prodotti vengono estratti dalla scatola grazie alla linea di trasferimento; attraverso tale dispositivo le particelle vengono indirizzate verso la sorgente di ionizzazione (ion source) dove avviene il processo di ionizzazione (ioni +1). La scelta della sorgente di ionizzazione è di fondamentale importanza, in quanto il suo funzionamento influenza l'intensità e la qualità del fascio radioattivo. A seconda del tipo di elemento, di cui si vuole produrre il fascio, vengono impiegate sorgenti di ionizzazioni differenti; in particolare si possono avere: sorgenti con ionizzazione superficiale, sorgenti laser (RILIS), sorgenti al plasma (FEBIAD) o la sorgenti ECR (Electron Cyclotron Resonance).

Gli ioni prodotti dalla sorgente di ionizzazione vengono accelerati da un elettrodo estrattore (electrode), realizzato in lega di titanio; il quale viene mantenuto ad una differenza di potenziale di 60 kV rispetto alla sorgente.

Lo studio della distribuzione di temperatura e delle deformazioni termiche presenti nei componenti che costituiscono il target, la linea di trasferimento, la sorgente di ionizzazione e l'elettrodo estrattore è assai complesso. Per tale motivo i Laboratori Nazionali di Legnaro hanno avviato delle strette collaborazioni con l'ENEA (Bologna), i Dipartimenti di Ingegneria dell'Informazione, di Ingegneria Meccanica, e di Scienze Chimiche dell'Università degli Studi di Padova, il CERN (Svizzera) ed i Laboratori di Oak Ridge (USA).

Il presente lavoro si inserisce in quest'ambito, con il proposito di sviluppare un efficace sistema di controllo che possa accompagnare, attraverso un'interfaccia grafico di facile comprensione da parte dell'utente finale, le varie fasi del processo, sia on-line che off-line, sia nei test preliminari. Per poter fare questo, si è ricorso all'uso del linguaggio di programmazione LabVIEW. Come verrà esposto in questa relazione, i software possono essere realizzati per comunicare direttamente con i dispositivi, o per ricevere/inviare da altri programmi le variabili necessarie al monitoraggio del processo.

Questa relazione si sviluppa in cinque capitoli, il cui contenuto viene qui di seguito brevemente riassunto:

- **Capitolo 1** In questo capitolo viene descritta la metodologia ISOL per la produzione di fasci di ioni radioattivi. In seguito vengono esposte le principali caratteristiche del progetto SPES, in fase di sviluppo presso i Laboratori Nazionali di Legnaro. Infine, vengono elencate le principali applicazioni dei fasci di ioni radioattivi nei campi di interesse della fisica nucleare, dell'astrofisica, della scienza dei materiali e della medicina.

- **Capitolo 2** In questo capitolo si illustrano i forni di produzione del progetto SPES. Viene effettuata una breve descrizione riguardo allo sviluppo dei dischi del target. Successivamente è descritta l'architettura dei forni, evidenziando soprattutto la configurazione hardware necessaria al controllo da remoto.

- **Capitolo 3** In questo capitolo viene introdotto il linguaggio di programmazione LabVIEW, con riferimento a determinate funzioni e modelli progettuali che maggiormente si sono rivelati utili durante l'attività tirocinio svolta: macchina a stati di Moore, Measurement & Automation Explorer, Interfaccia Shared Memory per l'interazione con EPICS.

- **Capitolo 4** In questo capitolo è trattato il lavoro fatto ai LNL nell'ambito di miglioramento del software precedentemente in uso nella gestione dei forni. In particolar modo, l'inserimento del calcolo della conducibilità, il lavoro con due alimentatori, e la possibilità di bypassare la termocoppia.

- **Capitolo 5** In questo capitolo viene presentato il programma realizzato per il monitoraggio del Front-End, in particolar modo delle operazioni relative a: target, deflettore, tripletto.

Capitolo 1 - Il Progetto SPES ai Laboratori Nazionali di Legnaro

1.1 *Introduzione*

Le proprietà chimiche e fisiche degli elementi presenti in natura sono determinate dall'atomo. L'organizzazione di più atomi in reticoli cristallini determina le proprietà fisiche, mentre la nube elettronica esterna determina le proprietà chimiche. La quasi totalità della massa dell'atomo (più del 99.9%) è concentrata nel nucleo.
Il nucleo è un'entità costituita da particelle dette nucleoni: a carica positiva, protoni, ed elettricamente neutre, neutroni, di massa circa 1800 volte più grande degli elettroni. (1)
La stabilità del nucleo è garantita dalla presenza di una forza di attrazione tra i nucleoni molto intensa, definita interazione forte. Tale forza agisce con efficacia a distanze inferiori alle dimensioni nucleari, bilanciando la repulsione elettrostatica presente tra i protoni, carichi positivamente. Grazie a quest'interazione, il moto dei nucleoni è vincolato attorno alla massa nucleare centrale. A causa della sua notevole intensità, la rottura del nucleo richiede molta energia. La branca della fisica che studia il comportamento e la stabilità del nucleo atomico è la fisica nucleare.

I nuclei stabili possiedono, approssimativamente, ugual numero di neutroni e di protoni (2) e costituiscono la cosiddetta "valle di stabilità" nella carta dei nuclidi (Figura 1.1) ; il motivo fondamentale è da ricercarsi nel fatto che l'interazione neutrone-protone è leggermente più intensa rispetto alle interazioni protone-protone e neutrone-neutrone.
Per nuclei con numero di massa $A \geq 40$ (si ricorda che $A=Z+N$, con Z numero di protoni ed N numero di neutroni), la forza coulombiana sposta la linea di stabilità lontano dalla retta in cui giacciono i nuclei con numero di protoni uguale al numero di neutroni, verso nuclei ricchi di neutroni (che essendo privi di carica, non alimentano la forza repulsiva elettrostatica). Inoltre, tale forza coulombiana limita l'esistenza di elementi super pesanti, dato che il corto raggio di azione della forza nucleare forte non permette un'efficace opposizione alla forza elettrostatica, agente invece a più lungo raggio.

I nuclei lontani dalla valle di stabilità, cioè con eccesso o difetto di neutroni, sono radioattivi e decadono emettendo particelle (alfa, beta, neutrini, …) e raggi γ. Tali nuclei instabili vengono comunemente chiamati "esotici". Al momento circa 2000 di essi sono stati prodotti e caratterizzati in laboratori di ricerca di tutto il mondo.
Calcoli teorici prevedono tuttavia l'esistenza di un numero di nuclei esotici molto più elevato (più di 6000), è perciò possibile che un gran numero di essi sia presente nella cosiddetta "terra incognita", comprensiva della regione ricca di neutroni (neutron-rich) e di quella dei nuclei superpesanti (SHE, Super Heavy Elements). La stabilità di questi nuclei è una questione fondamentale nella scienza nucleare e recenti studi hanno dimostrato che l'esistenza di nuclei con numero atomico più grande di 102 è interamente affidata agli effetti quantistici che gli specialisti definiscono «di shell».

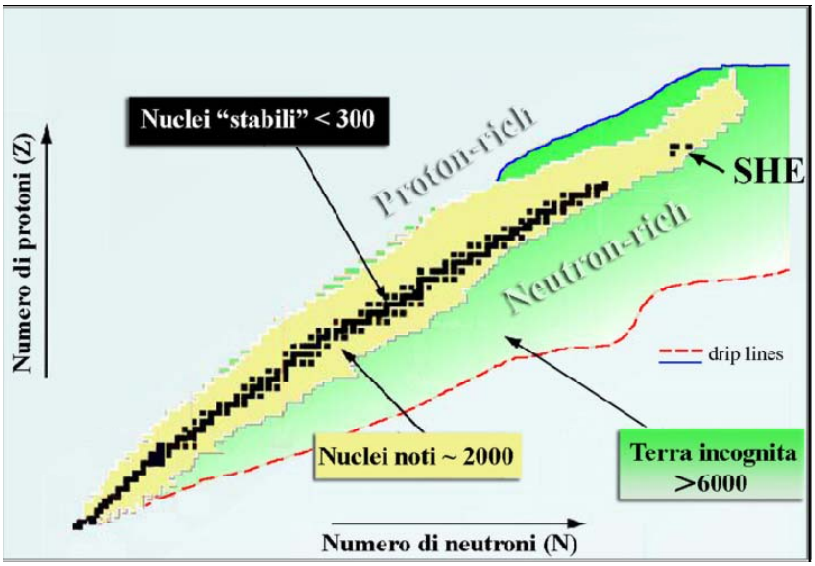


Figura 1.1 carta dei nuclidi

La carta dei nuclidi rappresentata in figura individua e classifica i nuclei in base al numero di protoni (Z) e al numero di neutroni (N).
I nuclei definiti "stabili" (quadratini neri) sono quelli non radioattivi oppure aventi tempo di decadimento comparabile all'età della terra (o addirittura superiore).
La regione di colore giallo è quella dei nuclei artificiali, che possono avere vita più o meno breve a seconda dei casi.
L'aggiunta di neutroni o protoni ad un nucleo provoca l'allontanamento dalla valle di stabilità, fino a giungere ai limiti, detti drip lines, in cui la forza di attrazione tra nuclei è protoni è diminuita in modo tale da non poter più garantire la stabilità del nucleo.
Attraverso calcoli teorici si è dimostrato che al di fuori delle drip lines i nuclei emettono nucleoni molto rapidamente, per formare nuovi nuclei, con combinazioni di protoni e neutroni tali da poter rientrare nell'area di potenziale stabilità, nella quale l'interazione forte è nuovamente capace di garantire il grado di coesione necessario.

La regione indicata in verde, ancora inesplorata, è definita "terra incognita". Essa è caratterizzata dalla presenza di nuclei radioattivi con rapporti N/Z molto piccoli o molto grandi; dalla figura è possibile notare che l'area proton-rich è ben definita teoricamente, mentre quella neutron-rich è molto più vasta ed indefinita.
Come si osserverà nei paragrafi successivi, lo studio dei nuclei instabili, in particolare dei nuclei esotici, ha aperto nuovi campi di ricerca in fisica nucleare, permettendo di confermare precedenti ipotesi di fondamentale importanza, e suggerendo promettenti applicazioni nel campo della fisica dello stato solido ed in campo medico.

Per l'utilizzo pratico e la produzione di ioni radioattivi di questo tipo è necessaria la costruzione di sistemi acceleratori ed attrezzature (facilities) capaci di garantire fasci ionici (RIB, Radioactive Ion Beams) di elevata purezza, intensità ed energia.
Numerose sono le facilities dedicate alla produzione di fasci radioattivi, operanti sia in Europa che in altre parti del mondo. La maggior parte di queste sono basate sul metodo ISOL.

La tecnica ISOL (Isotope Separation On-Line, Figura 1.2), utilizza la separazione degli isotopi in linea (3).

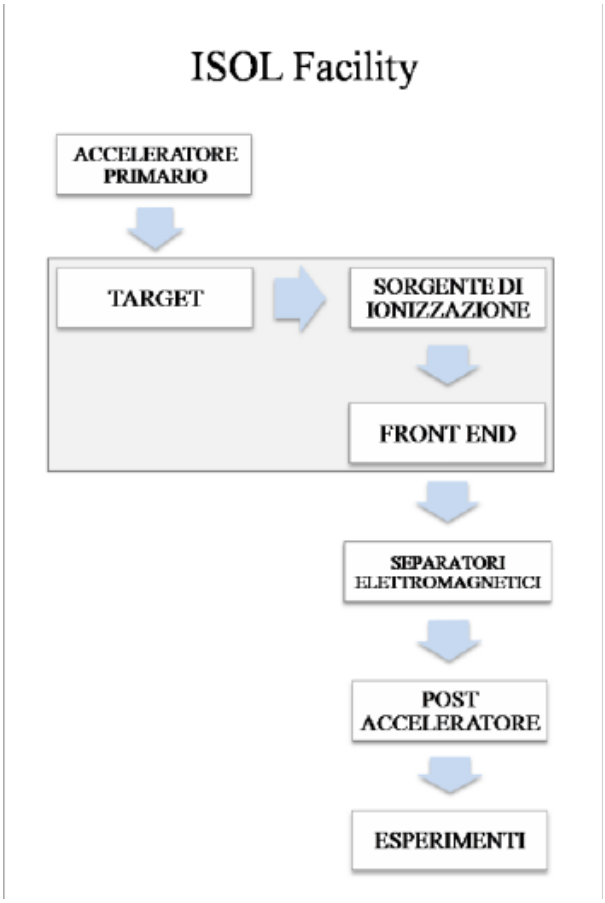


Figura 1.2 Schema di una facility di tipo ISOL per la produzione di fasci di ioni esotici

I principali costituenti di tale tipologia di facility sono:

- l'acceleratore primario
- il complesso target-sistema di estrazione e ionizzazione
- i separatori di massa ed isobari
- il post acceleratore

Un fascio di particelle della voluta energia, proveniente dall'acceleratore primario, viene fatto collidere con un bersaglio (Target) di materiale fissile; in questo modo si ottiene la produzione degli isotopi radioattivi tramite reazioni nucleari (fissione, spallazione, frammentazione, ecc…).
Attraverso un opportuno sistema i radioisotopi prodotti vengono estratti e ionizzati; in questo modo potranno essere accelerati per differenza di potenziale. Il primo stadio di accelerazione avviene nel Front-End che attira gli ioni e li invia verso dei separatori elettromagnetici all'interno dei quali il fascio viene opportunamente selezionato e purificato.
I separatori sono quindi necessari se si vuole ottenere un fascio chimicamente ed isobaricamente puro. Successivamente, gli ioni vengono post-accelerati al livello di energia richiesto dal particolare esperimento.

L'intensità del fascio radioattivo prodotto è usualmente descritta dalla seguente equazione:

$$I=\sigma\cdot\Phi\cdot N\cdot\varepsilon_1\cdot\varepsilon_2\cdot\varepsilon_3$$

Dove

- σ è la sezione d'urto per le reazioni nucleari,
- Φ è l'intensità del fascio primario,
- N è lo spessore del target,
- ε_1 è l'efficienza di rilascio del target,
- ε_2 è l'efficienza di ionizzazione
- ε_3 è l'efficienza del processo di estrazione.

Una corretta configurazione del complesso target - sistema di estrazione e ionizzazione è cruciale per un efficiente funzionamento di una facility di tipo ISOL. Gli obiettivi che stanno alla base del dimensionamento sono:

- la riduzione del tempo di ritardo,
- la massimizzazione della produzione senza deterioramento della purezza del fascio.

La separazione dei prodotti radioattivi dal substrato del target e l'estrazione dei nuclei esotici sono processi fortemente dipendenti dalla temperatura. In particolare, la diffusione delle particelle risulta accelerata all'aumentare del livello termico. Chiaramente, più breve è la vita media degli atomi radioattivi, più rapido deve essere il tempo di rilascio, e di conseguenza, per quanto appena affermato, il sistema deve essere mantenuto alla più alta temperatura possibile.

In ambito europeo, le opportunità scientifiche offerte dai RIB ed i notevoli problemi tecnologici ad essi associati, hanno portato la comunità scientifica a proporre la costruzione di una rete di facilities complementari, definite di "intermedia generazione", fondamentali per arrivare alla costruzione di un'unica grande facility europea di tipo ISOL, chiamata EURISOL (4): tale progetto rappresenta un'iniziativa che vede coinvolti i principali laboratori nucleari europei, ed è dedicato allo studio ed alla progettazione di una struttura per la produzione di fasci radioattivi di qualità significativamente superiore a quella attualmente disponibile.

In tale direzione sono orientati anche i Laboratori Nazionali di Legnaro (LNL), nei quali è prevista la costruzione di una facility ISOL per la produzione di fasci di ioni esotici: il progetto SPES (Selective Production of Exotic Species). Tale programma è coordinato a livello nazionale e prevede la collaborazione tra sei sezioni INFN, l'ENEA (Bologna), i Dipartimenti di Ingegneria Meccanica, Ingegneria dell'Informazione e Scienze Chimiche dell'Università degli Studi di Padova e, a livello internazionale, strette collaborazioni con il CERN (Svizzera) ed i Laboratori di Oak Ridge (USA).

Nel prossimo paragrafo sarà descritto il progetto SPES e la struttura della facility in fase di costruzione ai Laboratori Nazionali di Legnaro (LNL), mentre nel paragrafo 1.3 si fornirà una descrizione delle principali applicazioni dei fasci di ioni radioattivi.

1.2 *Il progetto SPES*

Il principale obbiettivo del progetto SPES è di fornire un acceleratore che permetta di svolgere ricerche all'avanguardia nel campo della fisica nucleare attraverso lo studio di nuclei lontani dalla valle di stabilità.
Il progetto è basato sulla produzione di nuclei radioattivi neutron-rich attraverso la fissione nucleare (con una resa massima di 10^{13}fissioni/s) indotta bombardando un target, realizzato in carburo di uranio, con un fascio di protoni di 40 MeV a 200 μA di corrente (per una potenza totale di 8 kW) (5)
Il livello di radioattività stimato nel target è molto elevato. È necessaria dunque la progettazione di speciali infrastrutture tali da garantire la sicurezza in termini di radioprotezione.
La facility SPES prevede inoltre la realizzazione di un acceleratore di neutroni (Neutron Facility), attraverso l'impiego di un secondo fascio di protoni ad alta energia. Questo costituisce un obiettivo secondario del progetto SPES, ma permette comunque importanti applicazioni mediche ed interdisciplinari. In Figura 1.3 è mostrato il layout del progetto SPES, in cui è visibile sia la facility del fascio di ioni esotici (RIB facility), sia la Neutron Facility.

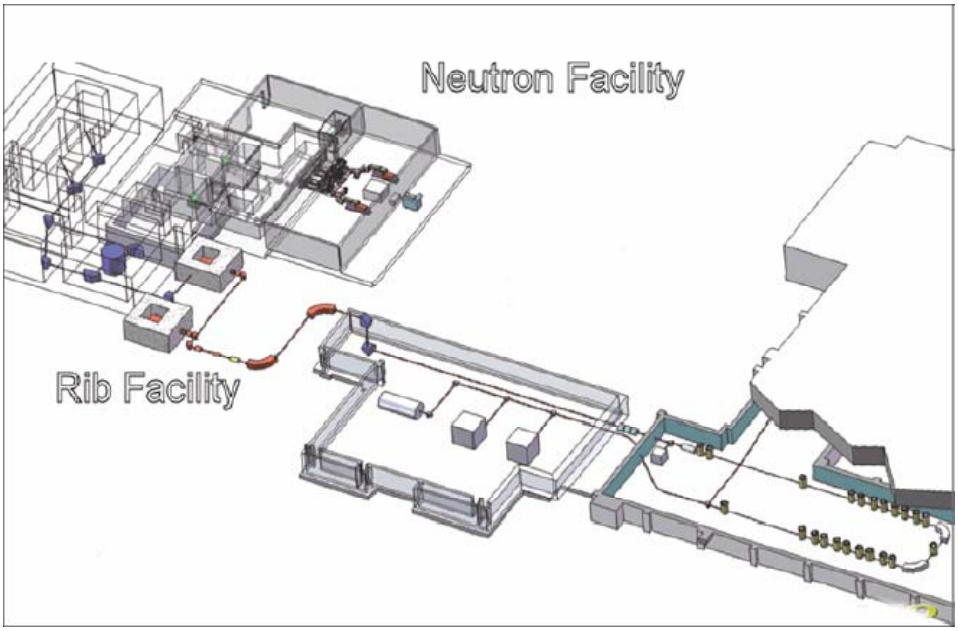


Figura 1.3 Layout del progetto SPES (RIB e Neutron facilities)

Viene di seguito fornita una descrizione dei componenti principali appartenenti alla RIB facility attualmente in fase di costruzione ai Laboratori Nazionali di Legnaro.

1.2.1 L'acceleratore primario

L'acceleratore primario ha la funzione di produrre un fascio primario di particelle, che dev'essere direzionato verso il target dove ha luogo la reazione nucleare. (5)

La facility SPES utilizzerà come acceleratore primario un ciclotrone. Tale dispositivo è in grado di garantire le performance richieste per la produzione di fasci di ioni esotici ed offre la possibilità di utilizzare una seconda linea di fascio in modo completamente indipendente per alimentare la Neutron Facility. Il mercato offre oggi la possibilità di produrre, con la tecnologia del ciclotrone, fasci di intensità molto vicina alle richieste del progetto SPES: questo ha portato alla scelta di una soluzione commerciale.
Un esempio di ciclotrone commerciale adatto al progetto SPES è il Cyclone® 70, sviluppato dalla IBA, il quale è in grado di fornire due fasci di protoni indipendenti fino a 70 MeV di energia ed aventi una corrente massima di 750 μA.

1.2.2 Il target di produzione ed il sistema di estrazione e ionizzazione

Il target di produzione dei radioisotopi, insieme al sistema di estrazione e ionizzazione degli stessi, è contenuto all'interno di una camera cilindrica, detta camera target, raffreddata da un opportuno circuito, date le elevate temperature raggiungibili. (Figura 1.4)

Sempre a causa delle alte temperature, per evitare l'ossidazione dei componenti presenti, l'interno della camera viene mantenuto in condizioni di alto vuoto (con pressione dell'ordine dei 10^{-6}mbar). La mancanza di atmosfera è inoltre necessaria per aumentare il cammino libero medio delle particelle radioattive prodotte. Il volume della camera è delimitato dallo spallamento di una flangia (plate) e da un coperchio (cover) a forma di pentola, entrambi realizzati in lega di alluminio, mentre la tenuta a vuoto è garantita da un O-Ring.

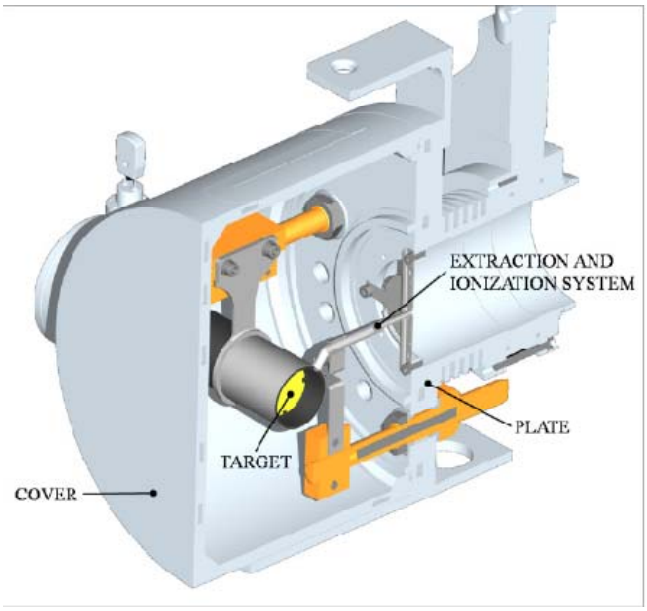


Figura 1.4 Configurazione della camera target.

Il target è composto da sette dischi coassiali in UC_x, aventi 40 mm di diametro e circa 1 mm di spessore ed opportunamente distanziati in direzione assiale, al fine di dissipare attraverso radiazione termica la potenza sviluppata dal fascio di protoni.
Essi sono contenuti in una scatola (box), consistente in un tubo cavo di grafite, di diametro esterno e una lunghezza di 49 e 200 mm rispettivamente (vedi Figura 1.5) Il fascio di protoni, prima di impattare contro i dischi, attraversa due finestre in grafite (windows), molto sottili per non attenuare l'intensità del fascio, ma di fondamentale importanza in quanto consentono di schermare la zona attiva e di evitare un eccessivo

raffreddamento del materiale fissile in corrispondenza dell'ingresso del fascio. Dopo aver investito le due finestre di grafite e i dischi di UC_x, il il fascio primario va ad impattare su tre dumper e sul fondo scatola (box base); questi elementi provvedono sia all'assorbimento definitivo del fascio (che così non va ad attivare la camera esterna), sia ad evitare la fuoriuscita di particelle dal lato posteriore del target (6).

La scatola deve mantenere la temperatura media di 2000°C, tale da migliorare l'estrazione dei prodotti di fissione. Essendo la potenza del fascio di protoni non sufficiente a portare il target al livello di temperatura richiesto, è necessario introdurre un dispositivo indipendente con la funzione di riscaldare e schermare il target. Il sistema di riscaldamento supplementare sostenere inoltre il target durante i transitori, evitando improvvisi sbalzi di temperatura molto pericolosi per l'integrità strutturale dei dischi.

Il riscaldatore (heater) è composto da un tubo molto sottile (tube) saldato ai bordi a due ali (wings) direttamente collegate ai morsetti in rame (clamps); attraverso i morsetti è possibile far dissipare per effetto Joule il desiderato quantitativo di potenza al riscaldatore. La dissipazione di potenza (dovuta all'effetto Joule) in aggiunta al calore sviluppato dalla fissione nucleare, fa in modo che la temperatura del sistema scatola-dischi sia mantenuta al valore di utilizzo.
Il materiale scelto per il riscaldatore è il tantalio: si tratta di un metallo altamente resistente alla corrosione, in grado di condurre energia elettrica e termica e di raggiungere temperature molto elevate.

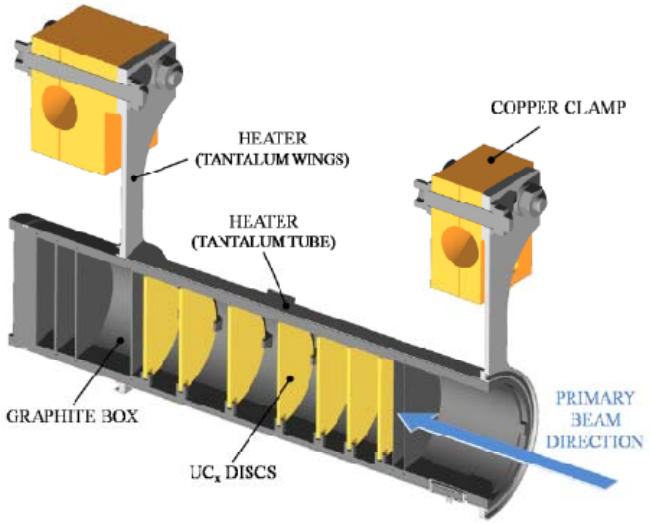


Figura 1.5 Rappresentazione del prototipo di bersaglio diretto del progetto SPES

Il processo di fissione nucleare, che si manifesta quando il fascio di protoni investe i sette dischi in carburo di uranio, produce nuclei radioattivi aventi massa compresa tra gli 80 ed i 160 uma; per la produzione di un RIB la specie esotica desiderata deve essere estratta dal target e ionizzata. Tale processo richiede del tempo e non può essere applicato ad isotopi aventi una vita media inferiore a poche decine di millisecondi.

Il processo di estrazione avviene lungo la linea di trasferimento (transfer line), attraverso la quale gli isotopi in uscita dal target vengono indirizzati verso la sorgente di ionizzazione (ion source) dove sono ionizzati positivamente (ioni +1). Nell'attuale configurazione la linea di trasferimento è un tubo sottile di tantalio saldato al riscaldatore

ad un'estremità e connesso meccanicamente alla sorgente di ionizzazione all'estremità opposta (Figura 1.6)
Come accade per il riscaldatore, anche il sistema linea di trasferimento - sorgente di ionizzazione viene riscaldato mediante dissipazione di potenza per effetto Joule; in questo modo la temperatura della sorgente arriva a sfiorare i 2400°C.

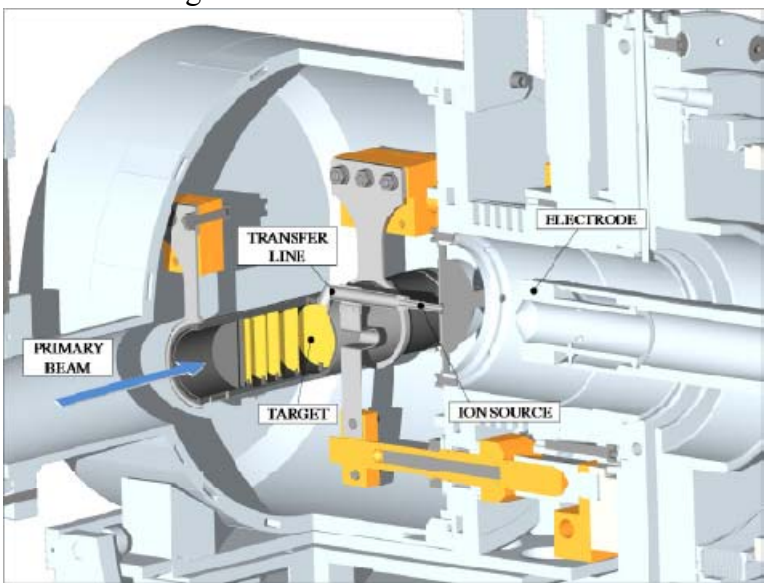


Figura 1.6 Rappresentazione del sistema di estrazione e ionizzazione del progetto SPES

La camera target viene collegata al front end; tra i due componenti è presente una differenza di potenziale (V_{camera}-$V_{front\ end}$) pari a 60 kV ed è quindi necessario, al fine di evitare il contatto diretto, interporre un isolante elettrico (electrical insulator) come rappresentato in Figura 1.7. Grazie alla differenza di potenziale, gli ioni radioattivi sono dirottati verso il front end; in particolare, gli ioni di uscita dalla sorgente di ionizzazione sono accolti da un elettrodo realizzato in lega di titanio (Ti6Al4V) e visibile in Figura 1.6.In questo modo si forma il fascio di ioni radioattivi che verrà inviato alle sale sperimentale, successivamente al passaggio attraverso i separatori elettromagnetici ed il post Acceleratore.

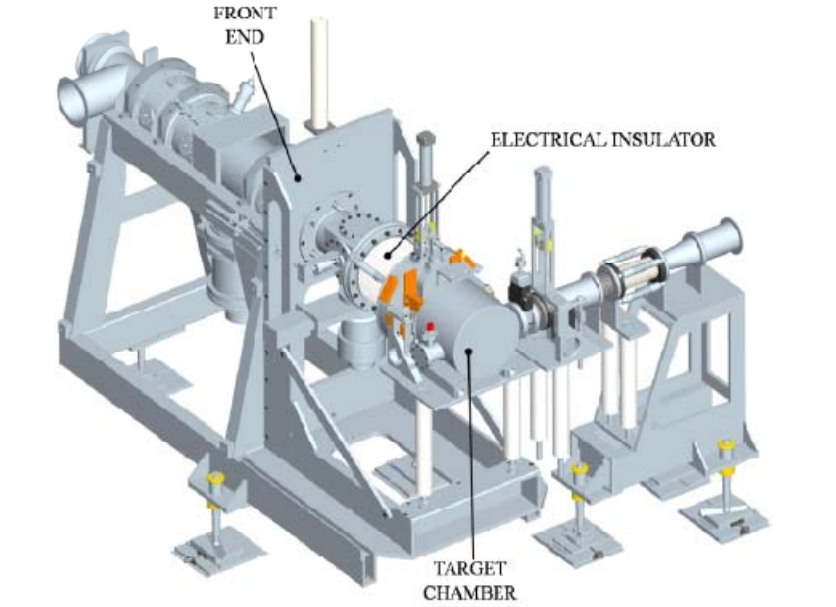


Figura 1.7 rappresentazione del Front - End

Il funzionamento della sorgente influenza intensità e qualità del fascio radioattivo. È pertanto di fondamentale importanza la scelta di una sorgente opportuna. La facility SPES viene inizialmente progettata con riferimento a due diverse tipologie di sorgente: una con ionizzazione di tipo superficiale (Surface Ion Source) ed una con ionizzazione laser (RILIS, Resonant Ionization Laser Ion Source) (7). Per entrambe le tipologie di ionizzazione si fa riferimento alla medesima architettura (mostrata in dettaglio in Figura 1.8); si tratta di uno sviluppo della sorgente MK1 ISOLDE sviluppata dal CERN. Il componente principale della sorgente MK1 è la hot cavity: un tubicino in tungsteno al cui interno avviene la ionizzazione.

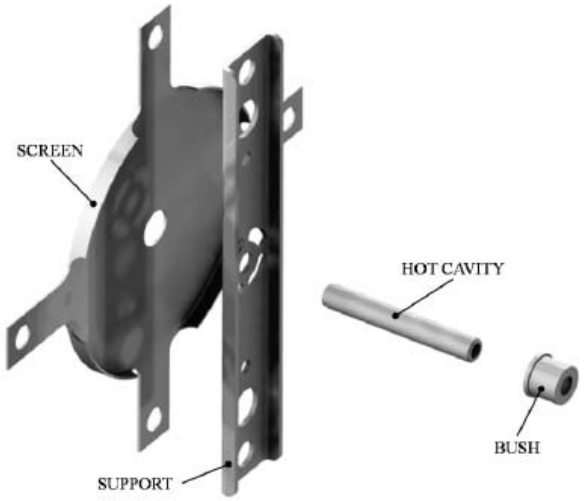


Figura 1.8 Architettura sorgente di ionizzazione MK1.

La hot cavity, dotata di un opportuno invito conico, viene accoppiata per interferenza al foro centrale del supporto (support) in tantalio; la gestione delle tolleranze è tale da impedire qualsiasi movimento relativo tra i due componenti. Dall'altra parte, il collegamento con la linea di trasferimento avviene per mezzo di un tappo (bush) in tantalio, sul quale vanno in battuta sia la linea di trasferimento sia la hot cavity. Le elevate temperatura raggiunte dalla sorgente di ionizzazione in condizioni di utilizzo, fanno si che i componenti si saldino tra loro.

Tra supporto e flangia principale viene interposto uno schermo (screen) in tantalio; si tratta di un componente fondamentale per l'estrazione degli isotopi radioattivi.

Surface Ion Source

Attraverso la Surface Ion Source la ionizzazione è causata dallo strisciamento degli isotopi radioattivi provenienti dal target sulla superficie interna della hot cavity. A causa di tale strisciamento gli isotopi cedono un elettrone e vengono quindi ionizzati positivamente (ioni +1).

Questo è possibile se la minima energia necessaria per rimuovere un elettrone da una superficie (funzione di lavoro) è maggiore del potenziale di ionizzazione dell'isotopo. Nel caso in esame si riescono a produrre con elevata efficienza ioni positivi per elementi con potenziale di ionizzazione inferiore alla funzione di lavoro del tungsteno pari a circa 5 eV. L'elevata temperatura a cui si trova la sorgente permette di avere un processo di

ionizzazione efficiente; si favorisce infatti il moto Browniano e si incrementano i contatti isotopo-superficie.

Lo svantaggio principale di tale metodo sta nel fatto che la ionizzazione non è selettiva, cioè non vengono ionizzati soltanto gli isotopi della specie desiderata. Si devono quindi predisporre dei separatori elettromagnetici in grado di selezionare, in base alla massa, le particelle presenti nel fascio.

In ogni caso la purezza del fascio non è garantita; vi sono infatti isotopi di diversa specie tra loro isobari, aventi cioè lo stesso numero di massa A ma un diverso numero atomico Z (come ad esempio il ^{132}Cs e lo ^{132}Sn). Per separare tali elementi sono necessari dei separatori isobari; tali dispositivi, oltre ad essere molto complicati e costosi sono anche poco affidabili, inoltre riducono notevolmente l'intensità del fascio.

Questa tipologia di sorgente permette di ottenere anche ioni negativi. La produzione di fasci di atomi esotici ionizzati negativamente è comunque molto complicata, non tanto per la produzione degli ioni, per cui è sufficiente realizzare la hot cavity con un materiale la cui funzione di lavoro sia inferiore all'affinità elettronica degli isotopi, bensì per la loro accelerazione. La differenza di potenziale presente tra la camera target, il front end ed i sistemi di post accelerazione dovrebbe essere invertita, e ciò sarebbe possibile soltanto se si disponesse di particolari dispositivi denominati charge exchange devices.

Resonant Ionization Laser Ion Source (RILIS)

Il metodo RILIS (il cui principio di funzionamento è schematizzato in Figura 1.9) è oggi il più potente strumento per la produzione di fasci di ioni radioattivi per le facilities di tipo ISOL.
Esso fornisce un processo di ionizzazione selettiva e garantisce la soppressione di contaminazioni indesiderate a livello della sorgente di ionizzazione. Vale la pena notare che il metodo RILIS utilizza la stessa architettura della tecnica di ionizzazione superficiale.

Un laser caratterizzato dalla sovrapposizione di più raggi (due o tre a seconda dell'elemento chimico da ionizzare) aventi lunghezze d'onda differenti, corrispondenti a diversi valori energetici ($E=hf$, dove h è la costante di Planck ed f è la frequenza d'onda), viene proiettato all'interno della hot cavity. Tale laser irradia gli isotopi e fornisce loro l'energia necessaria per far compiere all'elettrone più esterno dei salti quantici verso orbitali più esterni, fino alla separazione dall'atomo. In questo modo si ha la formazione di uno ione positivo +1.

La tecnica di ionizzazione RILIS permette di acquisire soltanto ioni radioattivi della specie di interesse. Si può dunque ottenere un fascio in cui le contaminazioni sono minime. In ogni caso, data l'architettura della sorgente, sussiste la possibilità che alcuni elementi (in particolare il Cesio) vengano ionizzati per strisciamento, sporcando così il fascio. Per ovviare a tale inconveniente, si può pensare di sostituire il materiale costituente la hot cavity: passando al Niobio la ionizzazione superficiale viene notevolmente attenuata.

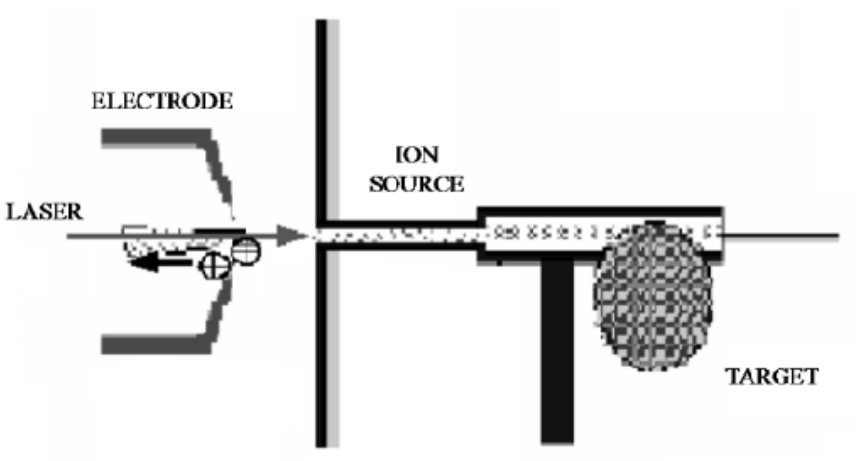


Figura 1.9 schematizzazione del sistema di ionizzazione RILIS.

Per garantire un'elevata efficienza di ionizzazione, è di fondamentale importanza limitare e controllare il disallineamento della hot cavity causato dall'espansione termica. Se la hot cavity si disallinea, viene a ridursi la zona di azione del laser, e di conseguenza anche l'efficienza di ionizzazione. (Figura 1.10)

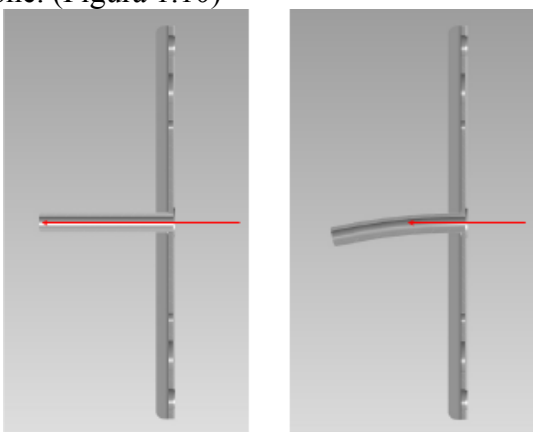


Figura 1.10 allineamento della hot cavity

Di seguito viene riportata una tavola periodica degli elementi nella quale vengono indicati in rosso gli elementi di cui, attraverso il progetto SPES, è possibile la produzione degli isotopi. In particolare sono evidenziati gli isotopi che possono essere prodotti con le tecniche di ionizzazione superficiale, laser o entrambe; per la produzione degli altri isotopi si dovrà ricorrere ad altri tipi di sorgente, come ad esempio la sorgente al plasma (FEBIAD) o la sorgente ECR. La prima è in grado di ionizzare qualsiasi tipo di elemento, anche se con efficienze minori rispetto alle tecniche laser e superficiale, mentre la seconda è particolarmente adatta alla produzione di elementi aventi un potenziale di ionizzazione molto elevato (come i gas nobili, di grande interesse per le applicazioni nucleari).

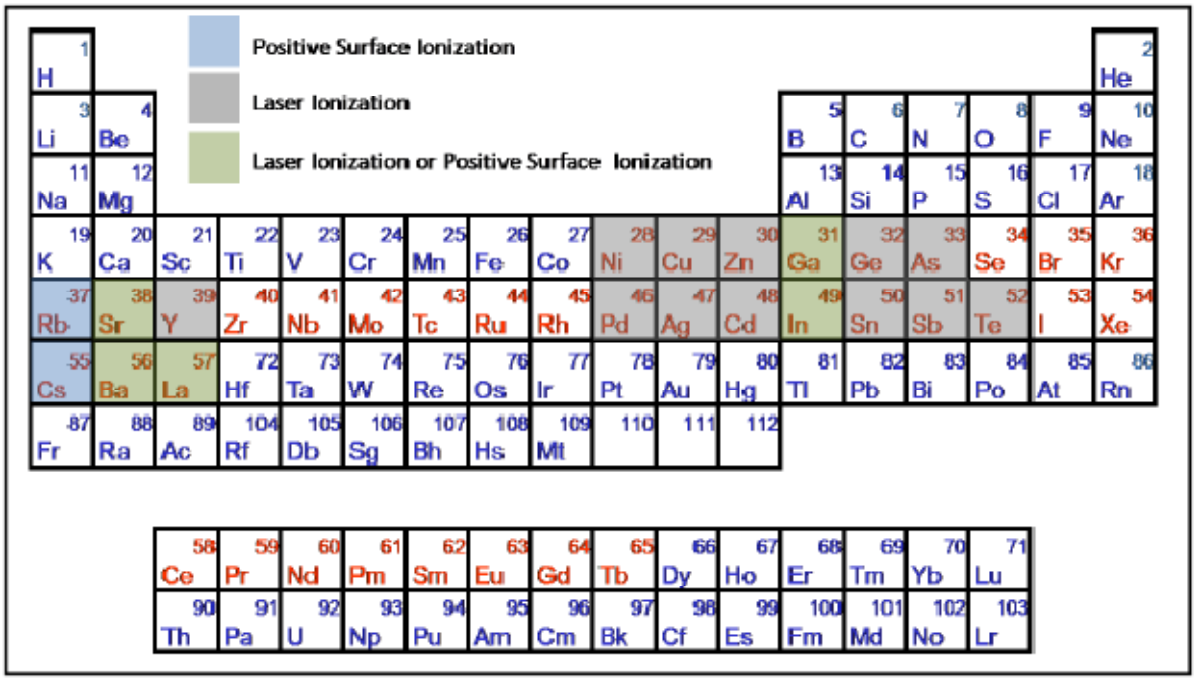


Figura 1.11 Tavola Periodica degli Elementi.

1.2.3 Separatori elettromagnetici e post accelerazione

Il fascio estratto dalla sorgente di ionizzazione viene sottoposto ad una prima fase di purificazione nella quale, attraverso un separatore di massa, viene intrappolata una grande quantità di contaminanti. La risoluzione di tale dispositivo (M/ΔM, dove per M si intende la massa dell'isotopo) è pari a circa 300; si riescono così a separare in base alla massa i vari elementi.

Il separatore di massa è seguito da un separatore isobaro, avente una risoluzione pari a 15000, che permette di separare isotopi tra loro isobari, come il ^{132}Cs e lo ^{132}Sn tra loro isobari. Per migliorare la capacità di selezione dei separatori isobari è necessario operare con un'energia in ingresso dell'ordine dei 200 keV; questo è possibile se, sia il target che il primo separatore vengono montati in una piattaforma HV a 250 kV.

A questo punto il fascio radioattivo può essere direttamente convogliato alle sale sperimentali (ed utilizzato in esperimenti che richiedono fasci radioattivi di bassissima energia), oppure essere post accelerato.

La post accelerazione viene ottimizzata mediante l'impiego di un Charge Breeder: un dispositivo in grado di incrementare la carica degli ioni prima dell'iniezione del fascio esotico attraverso PIAVE, che rappresenta il primo stadio di post accelerazione prima dell'ingresso in ALPI (acceleratore LINAC superconduttore).
Il complesso PIAVE-ALPI è da molti anni in funzione ai LNL, ma negli ultimi tempi è stato sottoposto ad un numero significativo di miglioramenti. In particolare, mentre prima consentiva la produzione di fasci ioni stabili, ora può essere impiegato come un acceleratore di RIB.

In Figura 1.12 è visibile una rappresentazione schematica in cui si possono notare i componenti principali che costituiscono la facility SPES per la produzione di fasci di ioni esotici.

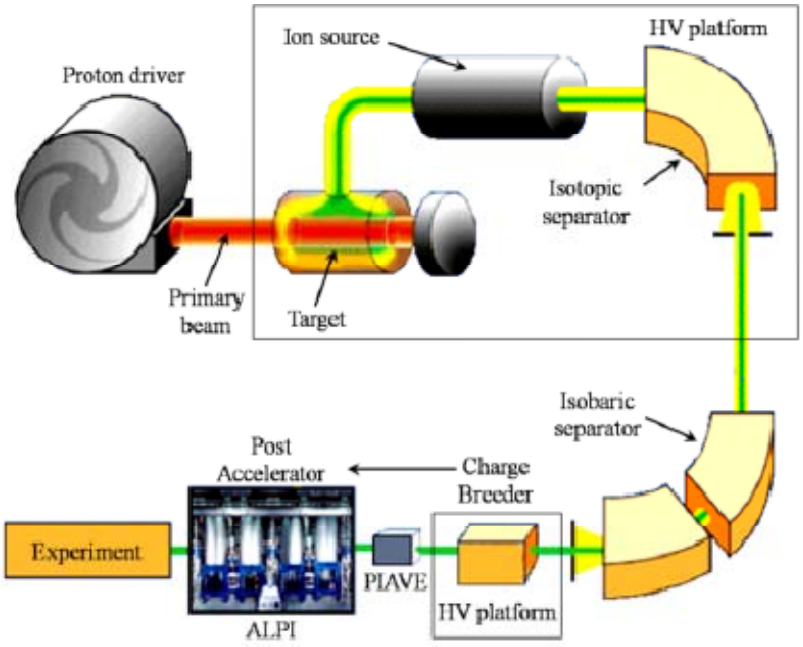


Figura 1.12 Rappresentazione schematica della facility SPES.

Si ricorda che la corrente finale del fascio radioattivo dipende dall'efficienza di molti processi chimici-fisici; complessivamente ci si aspetta, alle sale sperimentali, un fascio avente un rapporto di circa $10^6 \div 10^9$ isotopi/s (molto inferiore alle 10^{13} fissioni/s date dalla fissione nucleare). Il diagramma di Figura 1.13 mostra l'intensità del fascio radioattivo, calcolata tenendo conto delle efficienze di emissione, di ionizzazione e di accelerazione, per diverse specie di isotopi.

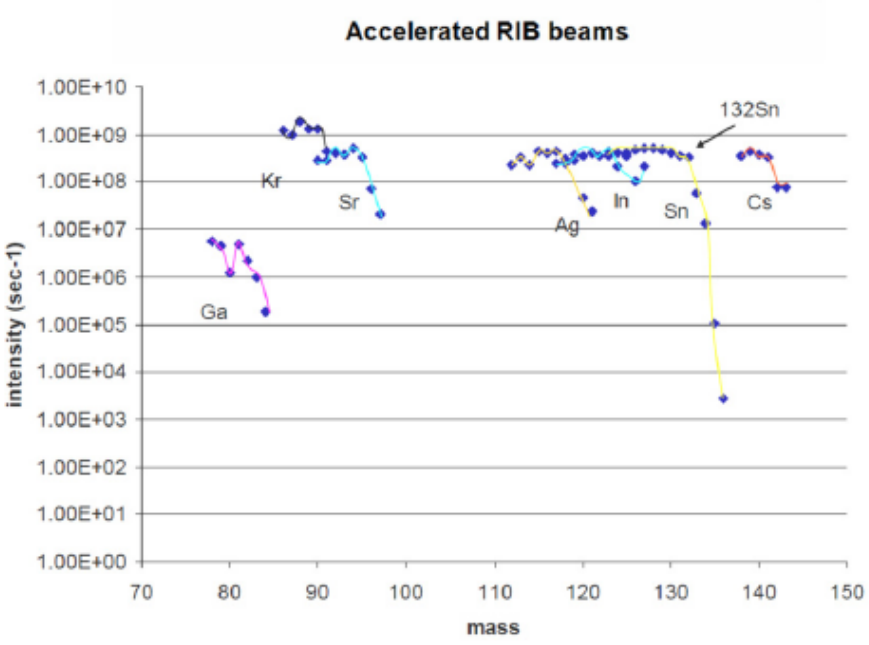


Figura 1.13 Intensità finale del fascio, calcolata tenendo conto delle efficienze di emissione, di ionizzazione e di accelerazione, per diverse specie di isotopi.

1.3 *Applicazione dei fasci di ioni esotici*

I fasci di ioni esotici hanno suscitato, nel corso degli anni, un crescente interesse dovuto alle loro molteplici applicazioni non solo nel campo della fisica nucleare ma anche in astrofisica, medicina e fisica dello stato solido. Nel presente paragrafo vengono brevemente descritte le principali applicazioni dei fasci di ioni radioattivi nelle quattro aree sopra citate.

1.3.1 Applicazioni in fisica nucleare (1)

Miglioramento e verifica del Modello Standard
Il modello standard della fisica delle particelle è una teoria che descrive insieme la funzione e le proprietà di tutte le particelle note ed osservate costituenti la materia, nonché tre delle quattro forze fondamentali: l'interazione nucleare forte, l'elettromagnetismo e l'interazione nucleare debole (queste ultime due unificate nell'interazione elettrodebole).
Nonostante il suo successo, tale modello non è del tutto soddisfacente, poiché dipende in modo sostanziale da alcune assunzioni fatte ad-hoc. Elaborati esperimenti di fisica nucleare, suggeriti da convincenti basi teoriche, sono stati ideati allo scopo di chiarire l'origine di queste assunzioni e pervenire così all'unificazione delle interazioni fondamentali. Tali esperimenti prevedono precise misure delle proprietà di decadimento di alcuni nuclei, che possono essere effettuate proprio utilizzando come sorgente pura di ioni i fasci di ioni radioattivi prodotti dalle facilities.

Studio della struttura di nuclei complessi
I nucleoni sono costituiti da subparticelle chiamate quark, esse esercitano un effetto fisico anche oltre i nucleoni nei quali sono confinati: in particolare le interazioni tra i nucleoni all'interno del nucleo sono diverse da quelle esistenti tra due nucleoni liberi, in quanto esse dipendono anche dalla densità di protoni e neutroni associata al particolare tipo di nucleo.

Al momento, non esiste una formula generale che consenta di quantificare l'entità delle interazioni nucleari per tutti i nuclei rappresentati nella **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, in quanto i calcoli quantomeccanici sono applicabili unicamente ai nuclei più leggeri; l'obiettivo della fisica
nucleare è di ottenere una trattazione unitaria che:

a) permetta di derivare l'effettiva interazione tra le particelle nucleari
b) elimini le incongruenze dei modelli correnti
c) sia applicabile anche ai nuclei esotici

A questo proposito i fasci di ioni radioattivi possono fornire un prezioso contributo.

Misura della dimensione del nucleo: i nuclei "halo"
La dimensione del nucleo è legata al numero totale di nucleoni che lo costituiscono dalla semplice relazione $R=R_0A^{1/3}$, dove R è il raggio nucleare ed R_0 una costante pari a 1.2 fermi (1 fermi=10^{-15}m).

Tuttavia, allontanandosi dalla valle di stabilità, si possono incontrare notevoli deviazioni da tale legge, in quanto le energie di legame tra le particelle di uno stesso nucleo possono diventare così piccole da causare la formazione di nuclei particolari, chiamati "ad anello" (nuclei "halo"). I nuclei "halo" sono caratterizzati da una diversa collocazione dei neutroni. Tali nuclei possiedono molti più neutroni dei rispettivi isotopi stabili, inoltre uno o due neutroni, essendo debolmente legati al nucleo, orbitano attorno ad esso (neutroni di valenza).

Un esempio di nucleo "halo" è il ^{11}Li: esso ha una dimensione media del nucleo paragonabile a quella del ^{48}Ca, ma se si considera l'alone, racchiuso dalle orbite dei due elettroni di valenza presenti, il nucleo assume dimensioni paragonabili a quelle del ^{208}Pb (vedi Figura 1.14)

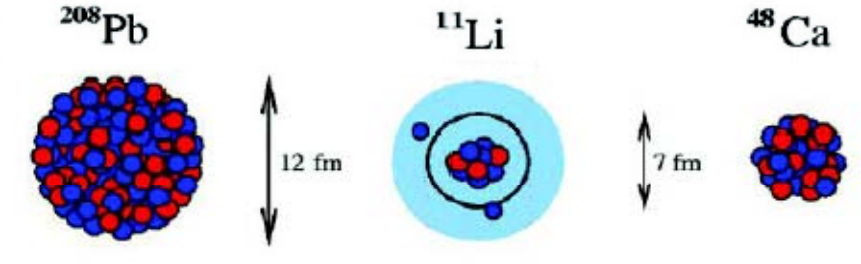


Figura 1.14 Paragone tra la dimensione del nucleo di ^{11}Li e quella di altri nuclei più massivi

Il nucleo ^{11}Li è un sistema a tre corpi (i due neutroni "esterni" ed il core) e rappresenta un esempio naturale di sistema Borromeico (vedi Figura 1.15) ; in topologia, i tre anelli borromeici sono legati l'un l'altro in modo tale che la rottura di uno permetta la separazione degli altri due.

Figura 1.15 Gli anelli Borromeici.

I nuclei ad anello sono anche chiamati "nuclei Borromeici" proprio perché se uno dei loro costituenti viene a mancare, gli altri divengono immediatamente instabili e si possono a loro volta allontanare facilmente.

Attualmente, per la misura della distribuzione di protoni, sulla base di esperimenti di spettroscopia atomica, si usano fasci radioattivi di bassa energia e luce laser collineata; per la determinazione della distribuzione di tutti i nucleoni, vengono invece impiegati fasci radioattivi ad alta energia.

Produzione di elementi superpesanti
Gli elementi naturali sono circa 90: dall'Idrogeno all'Uranio; negli ultimi anni l'utilizzo di reazioni di fusione nucleare ha permesso la sintesi di nuovi elementi di elevato peso atomico, estendendo il numero dei costituenti della Tavola Periodica sino all'elemento avente numero atomico 112 e prospettando un'ulteriore estensione a 116.
Questi elementi in particolare, in cui si presenta una fortissima repulsione coulombiana, sono chiamati superpesanti. Pare che riescano a formarsi attorno alla cosiddetta "Isola di Stabilità", una combinazione di 114 protoni e 184 neutroni che sembra garantire la stabilità del nucleo. La recente disponibilità di fasci intensi, costituiti da nuclei instabili ricchi di neutroni (n-rich), accoppiati a target stabili, anch'essi ricchi di neutroni, potrebbe sbarrare definitivamente la strada ad uno studio e ad una indagine accurata di tale fenomeno.

1.3.2 Applicazioni in fisica dello stato solido

La tecnica Radio Tracer Diffusion, nata nel 1920, consiste nell'impiantare all'interno di un sistema solido dei nuclei radioattivi e di studiarne il decadimento, rilevando le particelle o la radiazione gamma da essi emessa. Tale tecnica permette di captare segnali anche da pochissimi atomi e rappresenta uno dei metodi più comuni per studiare i processi di diffusione atomica nei solidi (8).

Il sistema ospitante può essere drogato con i radioisotopi "sonda" per diffusione, tramite reazione nucleare, oppure per impianto ionico; la scelta dell'atomo radioattivo da utilizzare per un determinato esperimento viene fatta in base alla natura chimica e alle proprietà nucleari di quest'ultimo.

L'uso della tecnica Radio Tracer Diffusion consente di:
- osservare, tramite i prodotti di decadimento, l'interazione tra l'atomo sonda e l'intorno reticolare che lo circonda,
- ottenere informazioni riguardanti il campo elettrico e magnetico all'interno del cristallo,
- studiare i processi diffusivi e le interazioni tra gli atomi sonda,
- indagare i tipi di difetti presenti nel cristallo.

Drogaggio dei semiconduttori
Lo sviluppo di semiconduttori di piccole dimensioni aventi caratteristiche ottiche ed elettriche ottimali richiede un controllo completo dei difetti che governano tali proprietà, sia intrinseci (come le vacanze interstiziali) che estrinseci (come i droganti e le impurità atomiche). Per tale motivo sia la ricerca di base che quella applicata stanno concentrando notevoli sforzi nello studio dei difetti e dell'attivazione elettrica dei droganti in diversi semiconduttori.

Analogamente agli isotopi stabili, gli isotopi radioattivi influenzano le proprietà elettroniche ed ottiche dei semiconduttori in base alla loro natura chimica ed alla loro posizione all'interno del reticolo cristallino. In particolare, poiché le proprietà elettroniche ed ottiche dei semiconduttori dipendono oltre che dal tipo di semiconduttore anche dalle sue dimensioni, si è dimostrato che in semiconduttori molto piccoli tali proprietà possono

essere sensibilmente alterate da un difetto presente con concentrazione minore di 10^{12} atomi/$cm^{3.}$
Per controllare in maniera affidabile le prestazioni dei semiconduttori sono quindi necessarie tecniche sperimentali che combinino un'alta sensibilità chimica con un'alta sensibilità per la determinazione di basse concentrazioni di difetti.

Per decenni la principale tecnica di rilevazione delle impurezze all'interno di un cristallo è stata il channeling: in tale tecnica un fascio di ioni viene guidato lungo le righe atomiche o lungo i piani del cristallo (canali), tuttavia non è possibile determinare concentrazioni di difetti inferiori a 10^{18} atomi/cm^3. La sensibilità di tale tecnica può essere profondamente aumentata impiantando all'interno del cristallo impurezze radioattive che emettono particelle cariche (emission channeling).
La misura dell'emissione lungo differenti direzioni cristalline permette la determinazione del sito cristallografico dell'atomo emittente con un'accuratezza di pochi decimi di Å.

1.3.3 Applicazioni mediche

1.3.3.1 la Tomografia ad Emissione Positronica (6)

Prima di procedere si forniscono alcune fondamentali definizioni:

- L'antimateria è la materia composta da antiparticelle: si tratta di particelle aventi la stessa massa e caratteristiche opposte a quelle che costituiscono la materia ordinaria.
- Il positrone (detto anche antielettrone) è l'equivalente di antimateria dell'elettrone ed ha carica elettrica pari a +1. Quando un positrone si annichila con un elettrone, la loro massa viene convertita in energia, sotto forma di due fotoni ad altissima energia nella banda dei raggi gamma. Un positrone può essere generato dal decadimento radioattivo con emissione di positroni, o dall'interazione con la materia di fotoni con energia superiore a 1,022 MeV.

Sebbene utilizzata principalmente per studiare le interazioni tra particelle elementari, l'antimateria ha anche un'applicazione tecnologica: la Tomografia ad Emissione Positronica (PET, Positron Emission Tomography) una tecnica di medicina nucleare e diagnostica medica che utilizza l'emissione di positroni per realizzare immagini tridimensionali o mappe ad alta risoluzione degli organi interni dei pazienti.
La procedura PET inizia con l'iniezione (generalmente per via endovenosa) nel soggetto da esaminare, di un isotopo tracciante di breve vita media, legato chimicamente ad una molecola attiva a livello metabolico (spesso uno zucchero). Dopo un tempo di attesa durante il quale la molecola metabolicamente attiva raggiunge una determinata concentrazione all'interno dei tessuti organici da analizzare, il soggetto viene posizionano nello scanner.

L'isotopo di breve vita media decade, emettendo un positrone. Dopo un percorso che può raggiungere al massimo pochi millimetri, il positrone si annichila con un elettrone, producendo una coppia di fotoni (di energia paragonabile a quella dei raggi gamma) emessi in direzioni opposte fra loro (sfasate di 180° lungo una stessa retta); questi fotoni sono successivamente rilevati dal dispositivo di scansione grazie anche all'impiego di speciali tubi fotomoltiplicatori.

Punto cruciale della tecnica è la rilevazione simultanea di coppie di fotoni: i fotoni che non raggiungono il rilevatore in coppia, cioè entro un intervallo di tempo di pochi nanosecondi, non sono presi in considerazione; dalla misurazione della posizione in cui i fotoni colpiscono il rilevatore (ogni coppia di fotoni individua una retta), si può ricostruire la posizione del corpo da cui sono stati emessi. Teoricamente con due coppie di fotoni, e dunque con due rette, è possibile individuare il punto di emissione dei fotoni, permettendo la determinazione dell'attività o dell'utilizzo chimico all'interno delle parti del corpo investigate.

Figura 1.16 Scanner impiegato nella tecnica di rilevazione PET.

Lo scanner utilizza la rilevazione delle coppie di fotoni per mappare la densità dell'isotopo nel corpo; la mappa risultante rappresenta i tessuti in cui la molecola campione si è maggiormente concentrata e viene letta e interpretata da uno specialista in medicina nucleare o in radiologia al fine di determinare una diagnosi ed il conseguente trattamento. Spesso, e sempre più frequentemente, le scansioni della Tomografia a Emissione di Positroni sono raffrontate con le scansioni a Risonanza Magnetica Nucleare, fornendo informazioni sia anatomiche e morfologiche, sia metaboliche. In sostanza, su come il tessuto o l'organo siano conformati e su cosa stiano facendo.
La PET è usata estensivamente in oncologia clinica, per ottenere rappresentazioni di tumori e per la ricerca di metastasi, e nelle ricerche cardiologiche e neurologiche.

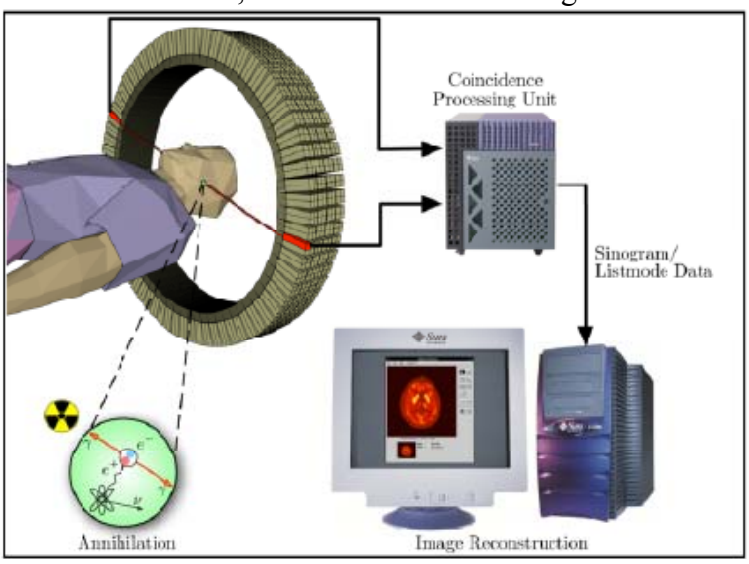


Figura 1.17 Schema riassuntivo della tecnica di analisi PET e modalità di acquisizione e presentazione dei dati.

Mentre altri metodi di scansione, come la TAC e la RMN permettono di identificare alterazioni organiche e anatomiche nel corpo umano, le scansioni PET sono in grado di rilevare alterazioni a livello biologico molecolare che spesso precedono l'alterazione anatomica, attraverso l'uso di marcatori molecolari che presentano un diverso ritmo di assorbimento a seconda del tessuto interessato.

Con una scansione PET è possibile visualizzare e quantificare con discreta precisione il cambio di afflusso sanguigno nelle varie strutture anatomiche (attraverso la misurazione della concentrazione dell'emettitore di positroni iniettato). I radionuclidi utilizzati nella scansione PET sono generalmente isotopi con breve tempo di dimezzamento, come ^{11}C (~20 min), ^{13}N (~10 min), ^{15}O (~2 min) e ^{18}F (~110 min). Per via del loro basso tempo di dimezzamento, i radioisotopi devono essere prodotti da un ciclotrone posizionato in prossimità dello scansionatore PET (9).
La PET gioca un ruolo sempre maggiore nella verifica della risposta alla terapia, specialmente in particolari terapie anti-cancro; si prospettano dunque per essa sempre maggiori applicazioni e sviluppi.

1.3.3.2 La terapia per la Cattura Neutronica nel Boro(BNCT) (10; 11)

La terapia per cattura neutronica nel boro (BNCT) è un trattamento binario che sfrutta la reazione $^{10}B(n,\alpha)^{7}Li$ che si verifica in seguito all'assorbimento di neutroni termici (E<1eV) da parte di nuclei di ^{10}B trasportati con un opportuno carrier nelle cellule neoplastiche.
Per tumori superficiali (melanoma maligno) e tumori in organi espiantabili si utilizzano sorgenti di neutroni termici; per tumori profondi (gliomacerebrale) si utilizzano sorgenti di neutroni epidermici.
Si stanno studiando nuovi composti del boro e del gadolinio in grado di ottimizzare il rapporto dose al tumore /dose al tessuto sano.

L'applicazione SPES-BNCT sarà la principale utilizzatrice interdisciplinare della facility SPES.
Tale struttura utilizza l'intenso raggio protonico fornito dalla prima fase di accelerazione SPES, l'RFQ, attraverso una reazione (p,n) in un target di Berillio. La fonte di neutroni fornita viene quindi rallentata fino ad un livello energetico termico, mediante un opportuno dispositivo per la traslazione dello spettro. Questo per fornire, nel punto di irraggiamento del raggio, un flusso termico di neutroni di almeno $10^{9}cm^{-2}s^{-1}$, richiesto per il trattamento del paziente.
Attraverso tale facility, si preveder di analizzare il trattamento del melanoma cutaneo pigmentato. (12)
I punti focali a cui è volto il programma di ricerca sono principalmente il progetto dell'impianto d'irradiazione dei neutroni, lo sviluppo di un nuovo trasportatore al Boro, ed un nuovo sistema di monitoraggio della dose biologica on-line su tessuti tumorali e sani.

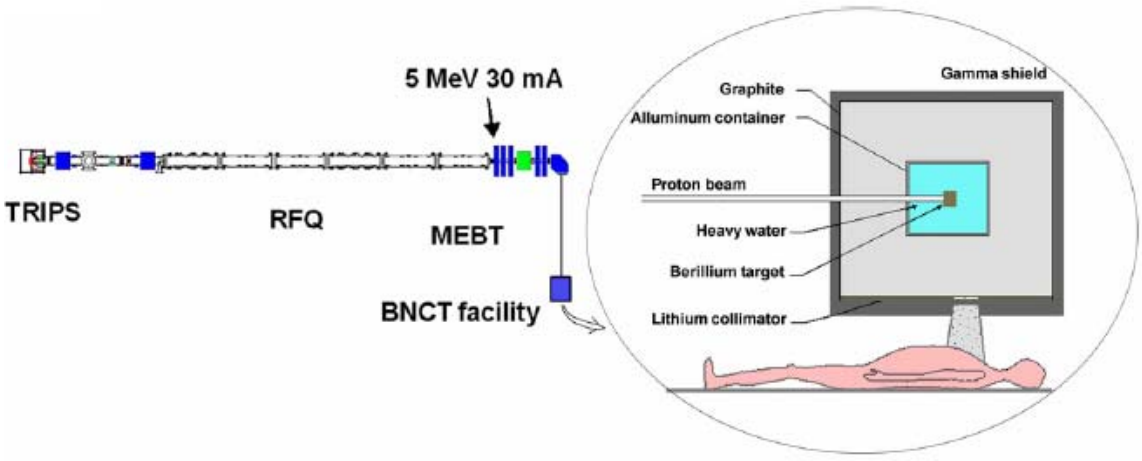


Figura 1.18 schema della facility di irradiazione SPES

Nel frattempo è stato testato su di un fascio di elettroni un prototipo di convertitore ad alta potenza fatto in berillio. È stato testato anche un impianto di dimostrazione a bassa potenza è stato testato sull'acceleratore CN (INFN-LNL). È stato costruito un prototipo micro dosimetrico e testato con neutroni termici al reattore TAPIRO(ENEA Acacia). Inoltre, al reattore TAPIRO un gruppo interdisciplinare sta portando avanti un intenso programma di ricerca che comprende test "in vitro" ed "in vivo" di nuove molecole di carrier sotto irradiazione di neutroni termici.

1.3.4 Applicazioni in astrofisica (1)

L'astrofisica nucleare gioca un ruolo fondamentale nella comprensione della struttura, evoluzione e composizione dell'Universo e dei suoi costituenti.
Le stelle generano energia attraverso reazioni nucleari coinvolgenti sia nuclei stabili che radioattivi. A volte, il consumo del carburante nucleare procede stabilmente e dura bilioni di anni, altre volte è esplosivo e dura pochi minuti o pochi secondi.
Nelle differenti fasi della consunzione delle stelle vengono sintetizzati nuovi elementi chimici, sia tramite processi di nucleosintesi che seguono strettamente la valle di stabilità, sia attraverso processi che si svolgono in un territorio sconosciuto.

Per sviluppare un modello che descriva il meccanismo di nucleosintesi, è necessario misurare le rese delle reazioni nucleari relative ai principali cicli astrofisici e le caratteristiche di decadimento di molti nuclei tuttora sconosciuti. Queste essenziali informazioni includono i tempi di vita, le masse ed i principali canali di decadimento di un numero di nuclei chiave lontani dalla stabilità. Le reazioni nucleari coinvolgenti nuclei instabili possono essere misurate unicamente con un fascio radioattivo: per tale motivo si prevede che la nuova generazione di facilities per la produzione di fasci radioattivi risulterà di fondamentale importanza per la comprensione della sintesi elementare nell'Universo.

1.4 *Conclusioni*

L'importanza assunta negli anni dai fasci radioattivi, sia per la ricerca teorica che applicata, ha spinto la comunità scientifica internazionale a costruire numerose facilities per la loro produzione: il progetto SPES ai Laboratori Nazionali di Legnaro rientra nell'ambito della realizzazione di una facility europea di tipo ISOL ad alte prestazioni (progetto EURISOL); la realizzazione operativa di tale progetto prevede l'allestimento di una facility "intermedia" in grado di ottenere come prestazioni 10^{13} fissioni/s in un target formato da 7 dischi in Carburo di Uranio bombardati da un fascio protonico di 40 MeV a 0,2 mA.

Capitolo 2 - I forni di produzione nel progetto SPES

2.1 *Sviluppo dei dischi del target (7)*

La produzione del RIB è strettamente legata alle caratteristiche del target colpito dal raggio protonico. La composizione ed il livello di purezza dei materiali costitutivi, la microstruttura e morfologia (fase cristallina, porosità, dimensione dei grani) del target sono di particolare importanza per tale scopo.
Il tipo di isotopi prodotti, a turno, dipende sia dall'energia del raggio incidente che dal materiale fissile, mentre l'efficienza di rilascio è legata soprattutto alla diffusione degli isotopi all'interno del target, nonché alla loro effusione. (13)

Sia la diffusione che l'effusione delle specie radioattive crescono enormemente all'aumentare della temperatura. Per tale ragione, la temperatura di lavoro del target dev'essere mantenuta più elevata possibile, in modo tale da garantire che il tempo di rilascio sia minore del tempo di decadimento degli atomi. D'altro canto, la temperatura di lavoro del target è limitata dalla pressione del vapore dei suoi costituenti, dalla stabilità del target ad alte temperature, e da possibili reazioni che possono avvenire tra il target ed il suo contenitore ad alte temperature.

Per far fronte a queste condizioni, si devono utilizzare per il target materiali composti refrattari come carburi ed ossidi. Per la produzione di alcuni fasci di isotopi previsti nel progetto SPES, sono già stati suggeriti isotopi fissili di Uranio e Torio, e sono stati di conseguenza adottati ossidi e carburi di Uranio e Torio.
Composti di ossido di Uranio e grafite hanno mostrato, ad alte temperature, caratteristiche particolarmente favorevoli per vari isotopi (14; 15; 16). In particolare, è possibile produrre UC_x attraverso la reazione con una matrice di base di carbonio (ad esempio polvere di grafite), in base alla seguente equazione:

$$UO_2 + 4C + nC \rightarrow UC_2 + 2CO_{(g)} + nC$$

La formazione di Carburo di Uranio avviene sotto condizioni di alto vuoto, a temperature che variano da 1100 a 1400°C. Il gas rilasciato durante la riduzione carbotermica (CO) è responsabile della formazione di pori. È stato dimostrato la porosità aperta (struttura interconnessa) migliora il rilascio di isotopi. (17) Oltretutto, se si vogliono ottenere materiali restando all'interno delle condizioni di lavoro possibili, la sintetizzazione di polvere composita avviene ad uno stato successivo, necessario, raggiungibile a temperature più elevate di 1700°C.

2.2 *I Forni di Produzione (18)*

Nell'ambito del progetto SPES sono utilizzati quattro forni, ognuno con una funzione specifica:

Tali forni sono progettati per trattamenti termici in alto vuoto: il trattamento termico avviene all'interno di un contenitore accessibile (denominato evaporatore), attraverso il riscaldamento per effetto joule di un elemento conduttore nel quale vengono collocati i composti da trattare. Tale elemento conduttore può essere o un crogiolo di grafite, o un riscaldatore in tantalio.
Il forno funziona in modalità manuale, mentre la gestione del processo avviene attraverso un software dedicato, su cui si è concentrato il mio lavoro, che verrà descritto nel Capitolo 4. Il forno può funzionare anche per un ciclo molto lungo (della durata di alcuni giorni).

La macchina è dotata di opportuni mezzi di sicurezza che nel caso di mal funzionamento, interrompono l'alimentazione di potenza.

2.2.1 Componenti

Armadio di supporto

È costituito da una struttura in profilati di alluminio. L'armadio funge da supporto all'evaporatore, e alla strumentazione necessaria per il funzionamento, la gestione e il controllo della macchina. La struttura inoltre è dotata di una colonna in profilato di alluminio, sulla quale è fissato un argano manuale. La colonna serve da guida per il sollevamento della campana.

Evaporatore

È costituito da una parte fissa, posizionata sull'armadio di supporto e da una parte mobile. Quest'ultima è strutturata a "campana" (Figura 2.19), o sulla forma della camera del target (Figura 2.20). La parte mobile è fissata all'armadio di supporto mediante una guida che le permette di traslare in senso orizzontale (camera) o verticale (campana), ed è percorsa da una canaletta a serpentina che, percorsa da acqua, serve al raffreddamento, durante il funzionamento del sistema.

.

Figura 2.19 Campana

Figura 2.20 Camera

All'interno dell'evaporatore, nella parte fissa all'armadio vi è poi un sistema di riscaldamento, costituito da due pinze in rame alle cui estremità viene fissato l'elemento riscaldatore. Le pinze di rame sono direttamente collegate al generatore di corrente e sono percorse dallo stesso liquido di raffreddamento della campana. Come accennato prima, l'elemento riscaldatore può essere o un crogiolo di grafite(Figura 2.22), o un riscaldatore in tantalio(Figura 2.21):

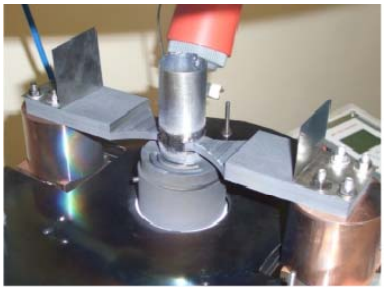


Figura 2.22 crogiolo di grafite, all'interno dell'evaporatore a campana

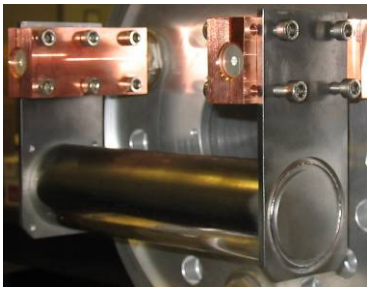


Figura 2.21 riscaldatore in tantalio, all'interno dell'evaporatore a camera

Generatori di potenza
Si tratta di uno o più alimentatori LAMBDA da 10V e 1000 A, che possono essere controllati sia manualmente, sia dal software di gestione del forno.(per approfondimenti a riguardo, si rimanda al Capitolo 4)

Gruppo di pompaggio a vuoto
È costituito da una pompa rotativa a secco ed una pompa turbo molecolare, tra cui è interposta una valvola di isolamento. Inoltre, il gruppo di pompaggio è dotato di un misuratore del vuoto BOC-Edwards – Serie TIC a tre canali completo di teste di misura e relè box per il segnale di sistema in vuoto.

Impianto elettrico
È realizzato per l'alimentazione del generatore di potenza, del gruppo di pompaggio a vuoto e dell'eventuale strumentazione necessaria per il funzionamento, la gestione e il controllo della macchina.
Prevede una scatola di derivazione, per il collegamento tra la linea e l'alimentazione della macchina.

Pirometri ottici
Si tratta pirometri a infrarosso Ircon Modline 5 R- 3015 alimentati in c.c. 24V per la misura di temperatura, scala da 1000 a 3000 gradi C.

Termometro
Si tratta di un termometro a termocoppia con campo da 0 a 2000 °C.

PLC
Si tratta di un PLC Compact Field Point della National Instrument.
Necessario per il controllo software di tutto il sistema, è connesso al PC tramite lo switch di rete. Per evitare intromissione da parte di terzi, si sta però progettando di connettere direttamente PC e PLC mediante cavo cross. Al PLC sono collegati tutti gli strumenti sovraelencati, oltre a segnali di interlock che tengono informazioni sullo stato di sicurezza del sistema: in primis, segnalatori di vuoto e flusso d'acqua. (Figura 2.5)
Nel PLC è inoltre caricato ed eseguito il programma che gestirà l'intero sistema.

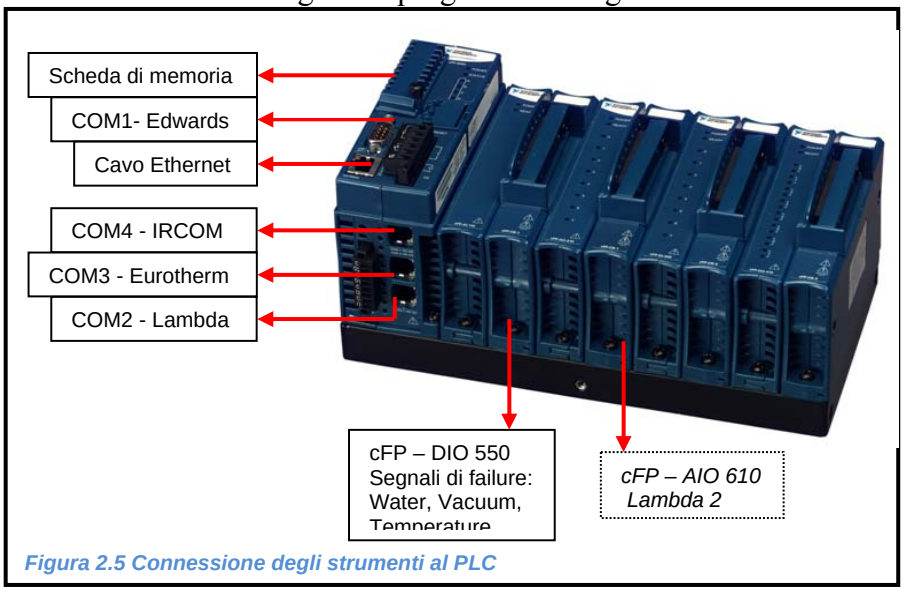


Figura 2.5 Connessione degli strumenti al PLC

Capitolo 3 - Il sistema di controllo: LabVIEW

3.1 *Il sistema di controllo SPES (19)*

Il sistema di controllo è una componente fondamentale per l'operatività della facility. Ha infatti il delicato compito di unificare sotto un'architettura il più possibile omogenea vari sottosistemi dai diversi livelli di complessità e sicurezza, realizzati, in base a ciò, con differenti tecnologie hardware e software.

Per sviluppare il sistema di controllo SPES è stato scelto il linguaggio di programmazione EPICS come struttura base. La motivazione principale è che EPICS è indipendente dall'hardware, è usato in molti acceleratori nel mondo ed è ben supportato da un'ampia comunità di sviluppatori. Ciò non implica che tutti gli hardware di controllo usino EPICS, ma che tutte le variabili di processo (PV, Process Variable) che necessitano di essere condivise tra diversi sottosistemi possano essere rese accessibili attraverso l'infrastruttura della rete EPICS, detta Channel Access.

Come regola generale, si è deciso di utilizzare dei PLC nei sottosistemi in cui la sicurezza ha una notevole rilevanza, ed utilizzare IOC (Controllori di Input Output) per la strumentazione relativa ad accelerazione ed ottica del fascio.
In base a questo cristerio, Un sistema basato su PLC provvede ad un controllo veloce ed altamente affidabile su vuoto, raffreddamento ad acqua, flusso di gas e sicurezza del personale. Nei sistemi basati sui PLC sono utilizzati dei touch screen per realizzare localmente l'interfaccia uomo-macchina (HMI, Human Machine Interface).

Il collegamento tra PLC e rete EPICS può essere effettuato sia attraverso un computer dedicato (IOC) che cambi il protocollo di comunicazione, sia usando un server OPC come gateway.

In Figura 3.23 è presentato uno schema generale del sistema di controllo del target.
Al livello più alto, è previsto l'uso di un'interfaccia grafica (GUI, Grafical User Interface), in cui confluiscono i livelli più bassi: PLC e sistemi EPICS. A tal proposito si pone l'utilizzo di LabVIEW come Client Channel Access. Un approccio simile è stato sviluppato all'SNS (Oakridge, U.S) con risultati soddisfacenti.

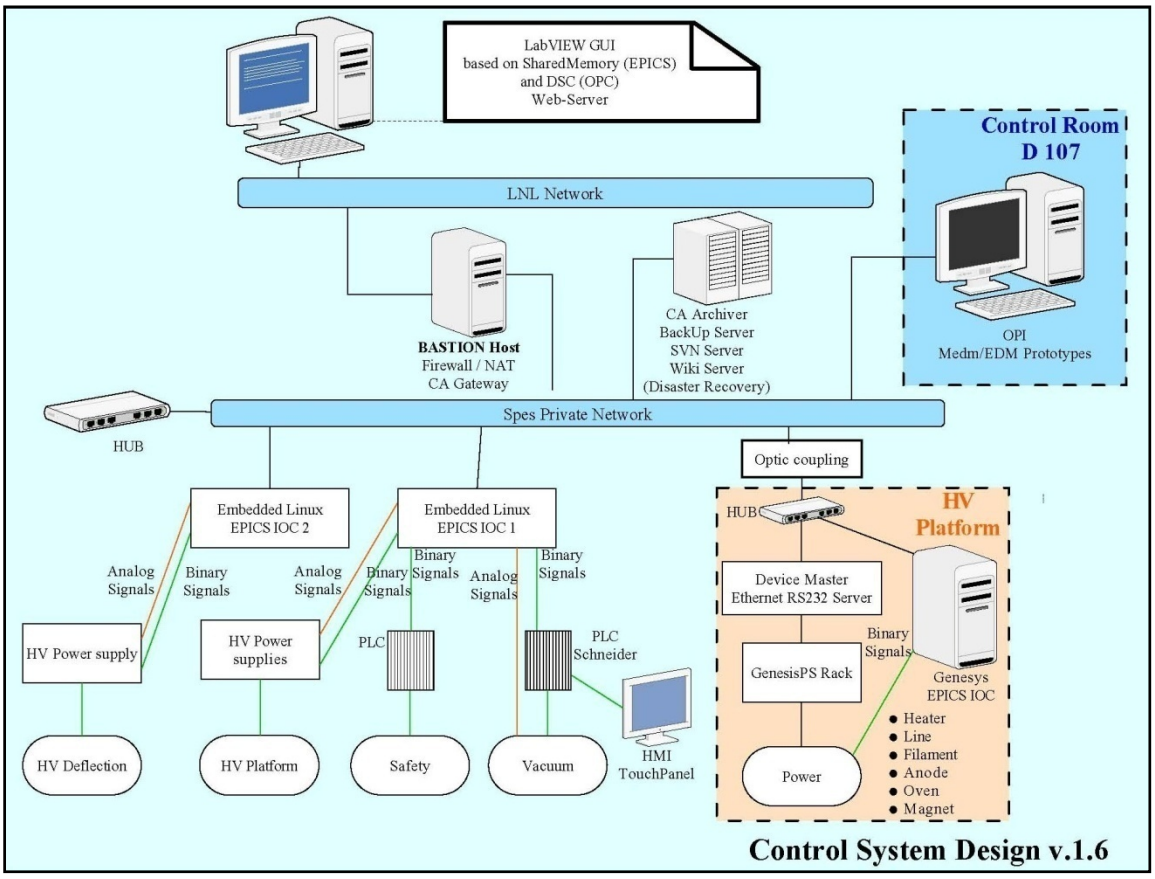


Figura 3.23 Schema del Sistema di Controllo

3.2 *LabVIEW (20)*

LabVIEW è un ambiente di sviluppo per applicazioni principalmente orientate ad

- acquisizione, analisi, visualizzazione, elaborazione, memorizzazione di segnali e dati
- gestione di strumentazione elettronica
- simulazione ed emulazione di sistemi fisici.

Si presenta come un ambiente di programmazione di tipo grafico ad oggetti, consentendo di realizzare programmi in forma di diagrammi a blocchi.
LabVIEW presenta tutti i tipi di dati e gli operatori predefiniti di uso comune, permettendo di generare nuovi tipi di dati, e controllare l'esecuzione dei programmi ricorrendo a strutture di controllo di flusso.
Il programmatore ha a disposizione una serie di librerie che possono essere richiamate ed utilizzate all'interno dei programmi. Queste comprendono:

- funzioni di uso comune: aritmetiche, statistiche, logiche, manipolazione di stringhe…
- funzioni specializzate per l'acquisizione e l'elaborazione dei segnali, il controllo di strumentazione numerica via interfaccia IEEE-488 o VXI, la trasmissione di dati mediante l'uso di porte seriali oppure mediante protocollo di comunicazione TCP/IP.

I programmi realizzati in LabVIEW vengono chiamati strumenti virtuali(VI, Virtual Instrument), poiché nell'aspetto e nel funzionamento sono simili a strumenti fisici, ma l'interazione avviene attraverso un programma in esecuzione, che simula il funzionamento di un dispositivo fisico(oscilloscopio, multimetro…).
L'utente può modificare il valore di alcune grandezze, agendo su opportune manopole o interruttori visualizzati dal programma, e può osservare il risultato delle elaborazioni condotte su display grafici molto simili a quelli che si trovano sulla strumentazione numerica/digitale.

Un VI è composto di tre parti fondamentali:

1) Pannello frontale (Front Panel)
2) Diagramma a blocchi funzionale (Block diagram)
3) Icona/connettore(Icon/connector)

1) Pannello Frontale.

È la finestra che rappresenta l'interfaccia utente del VI. Viene costruito mediante controlli ed indicatori:

- controlli: variabili d'ingresso che possono essere modificate agendo sul pannello frontale, mediante cursori potenziometrici, pulsanti, quadranti ed altri dispositivi d'ingresso. Simulano i dispositivi strumentali d'ingresso e forniscono i dati allo schema a blocchi del VI.

- indicatori: variabili d'uscita, il cui valore può essere modificato da programma, e non dall'utente. Questi sono i grafici, i LED ed altri dispositivi. Simulano i dispositivi strumentali di uscita e visualizzano i dati che lo schema a blocchi acquisisce o genera.

2) Diagramma a blocchi

Dopo aver costruito il pannello frontale, viene qui organizzato il codice, usando delle rappresentazioni grafiche delle funzioni di controllo degli oggetti del pannello frontale. Il Block Diagram è appunto costituito da questo codice sorgente grafico. Gli oggetti del pannello frontale appaiono come terminali sullo schema a blocchi. I terminali sono porte di ingresso e di uscita che scambiano informazioni tra il pannello frontale e lo schema a blocchi, i terminali sono analoghi a parametri e costanti nei linguaggi di programmazione testuali. I tipi di terminali includono:

- terminali di controlli e di indicatori: sono i corrispondenti dei controlli ed indicatori selezionati nel pannello frontale. I dati inseriti nei controlli dal pannello frontale, si inseriscono nello schema a blocchi tramite i terminali del controllo. I dati passano poi attraverso varie funzioni. Quando queste completano i loro calcoli, producono nuovi valori dei dati, che arrivano ai terminali indicatori, aggiornando gli indicatori del pannello frontale
- terminali nodo: oggetti dello schema a blocchi che hanno ingressi e/o uscite ed effettuano operazioni quando un VI si trova in esecuzione. Essi sono analoghi a dichiarazioni, operatori, funzioni e subroutine nei linguaggi di strutture. Le strutture sono elementi di controllo del processo, come le strutture Case, i cicli For o While…
    - funzioni: sono elementi operativi fondamentali di LabVIEW. Le funzioni non hanno pannelli frontali o schemi a blocchi ma hanno riquadri dei connettori.

- subVI: sono VI costruiti per essere usati all'interno di un altro VI. Ogni VI può essere potenzialmente utilizzabile come subVI. Contiene il codice sottoforma di diagramma a blocchi, ed è costituito da:

3) Icona/connettore

Essendo LabVIEW un linguaggio di programmazione ad oggetti è facile che un VI venga riutilizzato come subVI in un altro VI. Per poter fare ciò, bisogna definire le variabili che riceve in ingresso, e quelle che restituisce in uscità: ciò viene fatto mediante i riquadri dell'icona e dei connettori.

L'**icona** è un simbolo grafico di piccole dimensioni che rappresenta simbolicamente il VI stesso, e che permette di trasformare il programma in un oggetto. È normalmente visibile nell'angolo in alto a destra sia della finestra del Front Panel, sia in quella del Block Diagram.
Quando il VI corrente viene impiegato all'interno di un altro programma come sub-VI, l'icona permette di identificare il sub-VI stesso nel Block Diagram del programma principale che lo contiene.

Il riquadro dei **connettori** è un insieme di terminali che corrisponde ai controlli e agli indicatori del VI, analogamente alla lista di parametri di chiamata di funzione nei linguaggi di programmazione testuali. Essi stabiliscono la corrispondenza tra aree dell'icona e controllori/indicatori del pannello frontale(elementi di ingresso-uscita del pannello frontale associato al sub-VI).

Della vastissima gamma di funzioni e metodi di programmazione forniti da LabVIEW, vengono ora introdotti quelli che maggiormente si sono rivelati utili durante il tirocinio.

3.2.1 Macchine a stati

Il modello progettuale della macchina a stati è uno schema di progetto per LabVIEW comune e molto utile. Lo schema di progetto della macchina a stati si può usare per implementare ogni algoritmo che può essere esplicitamente descritto da un diagramma di stato o di flusso.
Una macchina a stati di solito implementa un algoritmo decisionale moderatamente complesso, come una routine diagnostica o un controllo di progetto.
Una macchina a stati, consiste in un insieme di stati ed in una funzione di transizione che conduce allo stato seguente. Le macchine a stati finiti hanno molte varianti. Le due macchine a stati finiti più comuni sono la macchina di Mealy e la macchina di Moore.
Una macchina di Mealy effettua un'azione per ogni transizione.
Una macchina di Moore effettua un'azione specifica per ogni stato del diagramma di transizione di stato. Il modello progettuale di macchina a stati in LabVIEW implementa ogni algoritmo descritto da una macchina di Moore.

Una macchina a stati si basa sui dati di ingresso dell'utente o sui calcoli nello stato per determinare in quale stato andare successivamente. Ogni stato può condurre a uno o più stati o terminare il flusso del processo. Molte applicazioni richiedono uno stato di inizializzazione, seguito da uno stato di default, in cui possono essere effettuate molte azioni diverse. Le azioni effettuate possono dipendere da ingressi e stati precedenti e correnti. Uno stato di chiusura effettua comunemente azioni di ripulitura.

Le macchine a stati sono comunemente usate per creare interfacce utente. In queste, azioni diverse dell'utente inviano l'interfaccia utente in differenti segmenti di processo. Nella macchina a stati ogni segmento di processo agisce come uno stato. Ogni segmento può condurre ad un altro segmento per un ulteriore processo o attendere un'altra azione dell'utente, mentre la macchina a stati monitora costantemente l'utente sull'azione seguente da intraprendere.

La verifica del processo è un'altra applicazione comune dello schema progettuale della macchina a stati. In una verifica di processo, uno stato rappresenta ogni segmento del processo. A seconda dei risultati della prova di ogni stato, potrebbe essere chiamato uno stato diverso. Questo può accadere continuamente, dando come risultato un'analisi in profondità del processo che si sta verificando.

Il vantaggio di usare una macchina a stati è che una volta creato un diagramma di transizione di stato, si possono facilmente costruire dei VI in LabVIEW.

La traduzione del diagramma di transizione di stato in uno schema a blocchi richiede i seguenti componenti infrastrutturali:

- while loop – esegue continuamente i vari stati, implementando il flusso del diagramma di transizione di stato.
- case structure – contiene una condizione per ogni stato ed il codice da eseguire per ognuno di essi
- shift register – contiene informazioni sulla transizione di stato(tiene traccia dello stato corrente e lo comunica all'ingresso della struttura case)
- state functionality code – codice che implementa la funzione dello stato
- transition code – codice che determina lo stato seguente nella sequenza

3.2.2 Property node

Consentono di modificare proprietà di controllori ed indicatori durante l'esecuzione del programma.
ad esempio è possibile

- rendere invisibili o disabilitare elementi sul pannello frontale
- modificare la lista di opzioni di un menu (ring)
- cambiare valori di fondo scala di elementi di interazione (manopole, slider,...)
- modificare le impostazioni di visualizzazione di grafici (fondo scala, colori,...)

3.2.3 Measurement & Automation Explorer

Measurement & Automation Explorer, o MAX, è un'interfaccia software che fornisce accesso a tutti i dispositivi DAQ, GPIB, IMAQ, IVI, Motion, VISA e VXI della National Instruments collegati al sistema. MAX viene usato principalmente per configurare e testare l'hardware della National Instruments, ma offre altre funzionalità, come: l'allestimento di canali virtuali, la visualizzazione di pannelli di prova, l'impostazione di scale personalizzate, e l'ottenere aggiornamenti software per la configurazione e il test del sistema. MAX inoltre informa su quali dispositivi siano presenti nel sistema.

Le funzioni di MAX si dividono in quattro categorie:

1) Data Neighborhood
2) Devices and Interfaces
3) Scales
4) Software

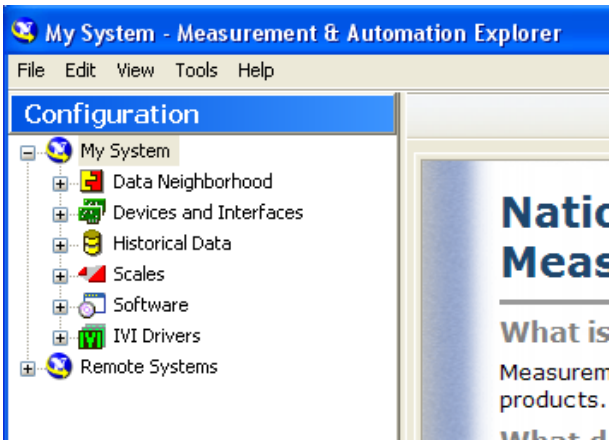


Figura 3.24 funzioni MAX

3.2.3.1 Data Neighborhood

Data Neighborhood contiene i canali virtuali. Ha la funzionalità di mostrare i canali virtuali configurati correntemente e di fornire utilities per il test e la riconfigurazione di quei canali virtuali. Data Neighborhood fornisce anche accesso al DAQ Channel Wizard, che consente di creare nuovi canali virtuali.

3.2.3.2 Devices and Interfaces

Devices and Interfaces visualizza l'hardware della National Instruments correntemente installato e rilevato. Include anche delle utility per la configurazione e il test dei dispositivi. Una di queste utility è il Test Panel.

Test Panel

Il Test Panel è un'utility per il test degli ingressi analogici, delle uscite analogiche, degli I/O digitali e
delle funzioni del contatore del dispositivo. Il Test Panel è utile per la ricerca dei problemi perché consente di testare la funzionalità del dispositivo direttamente da NI-DAQ. Se il dispositivo non funziona nel Test Panel, non lavorerà in LabVIEW.
In caso si verifichino dunque problemi inspiegabili con l'acquisizione dati in un programma in LabVIEW, è importante utilizzare tale utility di test per assicurarsi che il dispositivo stia lavorando correttamente.

3.2.3.3 Scales

Scales mostra tutte le scale personalizzate correntemente configurate e fornisce utility per il test e la riconfigurazione di quelle scale. Scales fornisce anche l'accesso al DAQ Custom Scales Wizard, che consente di creare nuove scale personalizzate.

3.2.3.4 Software

Software mostra tutto il software National Instruments correntemente installato. L'icona di ogni pacchetto software costituisce anche un collegamento che è possibile utilizzare per lanciare il software. La categoria Software include anche Software Update Agent. Lo scopo di Software Update Agent è di verificare se il software della National Instruments corrisponde all'ultima versione. Se il software non è aggiornato all'ultima versione, il Software Update Agent apre la pagina Web ni.com per scaricare la versione più recente del software.

3.3 *Interfaccia LabVIEW-EPICS (21)*

Come spiegato precedentemente, LabVIEW si pone a servizio dell'utente finale come monitor del processo globale, in grado di interagire, mediante operazioni di lettura/scrittura, con le variabili del processo in atto: le PV EPICS. Ciò avviene attraverso una particolare interfaccia: l'interfaccia Shared Memory.

3.3.1 L'interfaccia Shared Memory

L'interfaccia Shared Memory (SMI) ha tre componenti: una DLL, un dispositivo IOC di supporto, ed una libreria LabVIEW.
Dì per sé, la DLL non è dipendente da EPICS o LabVIEW, e può dunque essere usata senza di loro. I dati sono equalmente condivisi dalle applicazioni collegate alla DLL.

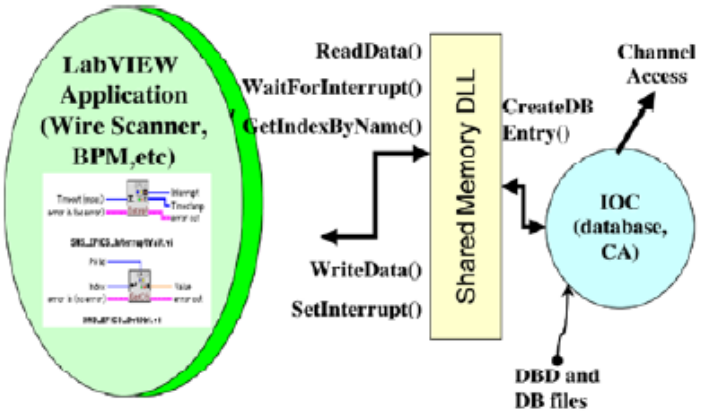


Figura 3.25 L'interfaccia Shared Memory

In Figura 3.25 si può vedere come la DLL connetta LabVIEW ad EPICS utilizzando un'interfaccia comune.
Oltre a provvedere lettura e scrittura di dati, la DLL permette anche di organizzare gli eventi: un'applicazione può inviare il segnale che abiliti il processo dei dati ad un'altra applicazione in fase di attesa.

La DLL supporta due modalità di operare: i dati possono essere condivisi in modo:

- Asincrono
- Sincrono

Tutti i dati possono essere letti in modo asincrono dalla DLL, ma solo i dati inseriti nella DLL come sincroni possono essere letti in modo sincrono.

La struttura dei dati all'interno della DLL utilizza una serie di buffer anche per dati asincroni.
In modalità asincrona, i dati sono sempre letti dall'ultimo buffer disponibile. Se i dati sono contemporaneamente scritti sulla variabile dallo stesso nome, le operazioni utilizzeranno buffer differenti. I dati bloccati sono utilizzati con moderazione, insieme ad etichette di sequenza, per prevenire e rilevare errori di buffer.
In caso di overrun di un buffer, in cui un dato viene scritto in un buffer che è usato da un'operazione di lettura, tale operazione di lettura rileverà il cambiamento di numero di sequenza, e ricopierà il buffer nell'area di lettura dati. Questo capita raramente in un sistema composto da una sola CPU.

In modalità sincrona, i dati sono scritti nei buffer come descritto prima, ma i puntatori dei buffer avanzano solo quando un evento processato è inviato con un time stamp, l'indicazione dell'ora. Anche la lettura sincrona necessita di un puntatore di buffer e può avvenire solo per dati dalla cima di un buffer indicato solamente dopo aver ricevuto il comando di processare tali dati.

La DLL realizza questo comportamento attraverso un buffer ad anello dalle dimensioni variabili in base alle necessità dell'utente. Tale buffer, mantenendo i dati insieme al messaggio dell'evento in fase di processo, funziona come first-in first-out (FIFO), tenendo i dati per più di un solo evento di trigger. Ogni qual volta si riceva un comando di lettura, viene creata una nuova indicazione di tempo e resa disponibile sulla cima di ogni PV FIFO, insieme ai dati. La lettura sarà poi bloccata, in attesa di dati, se nessun dato è in coda nella FIFO. La DLL supporta i tipi di dato scalare e vettoriale di: char, uchar, short, ushort, long, ulong, float, double, ed il tipo di dato stringa. I corrispondenti tipi di record EPICS sono: ai, ao, longin, long out, bi, bo, waveform, string.

3.3.2 Integrazione della Shared Memory attraverso IOC EPICS

Per integrare LabVIEW con EPICS è stata creata una DLL contenente una serie di funzioni che supportino EPICS. È stata data particolare attenzione al mantenimento della correlazione temporanea dei dati, attraverso l'utilizzo di time stamps, ed eventi time stamped.
L'IOC utilizza il protocollo Channel Access per la comunicazione con gli altri nodi, e provvede, per l'infrastruttura da gestire, la creazione ed il processo di strutture di dati, note come record.
I record sono il tipo di dati utilizzati da EPICS, e supportano attributi sia scalari che vettoriali, insieme a vari attributi, supportati dalla DLL.
Per ogni genere di record supportato dall'IOC sono necessari due supporti da parte del dispositivo, uno volto all'inizializzazione, l'altro all'esecuzione. Queste operazioni sono modificate in modo da fare riferimento alla DLL.

Inizializzazione
Un IOC EPICS si avvia caricando l'immagine binaria del software ed un file "dbd", contenente la descrizione di tutti i record utilizzati nel database in memoria. Le istanze delle variabili sono definite in un file "db". Durante la processazione di un file di questo tipo, vengono richiamati record e specifiche operazioni del dispositivo, per l'inizializzazione del record. La DLL è chiamata durante ogni istanziazione di record, in modo da creare una variabile nella shared memory, e collegare il campo del record relativo al dato alla variabile shared memory. I programmi che vi accedono (in questo caso, LabVIEW) possono inizializzare la shared memory.

Esecuzione
I dati che giungono dal Channel Access o dall'esecuzione di un data base, creano un record in grado di fornire supporto al triggering del dispositivo.
Da parte del dispositivo è effettuata una chiamata, per supportare la scrittura del dato nella shared memory da parte della DLL.
Il timestamp EPICS (o, a scelta, del sistema), viene reso disponibile a LabVIEW attraverso un passaggio per la variabile nella shared memory. Dall'applicazione

LabVIEW, i dati possono essere processati in modo asicrono, specificando uno scan rate tra gli attributi "SCAN" del record EPICS.
Se si vuole invece effettuare un'operazione sincrona, il campo "SCAN" è impostato come "I/O interrupt". In tal caso il nucleo IOC tratta gli eventi da processare dagli altri client come se ci fosse stata un'interruzione nell'hardware dell'IOC.

3.3.3 Integrare la Shared Memory con LabVIEW

Molte funzioni della DLL sono chiamate da LabVIEW utilizzando la funzione Call Library Node. Tali funzioni includono:

1) Lettura e scrittura di variabili
2) Cercare e trovare informazioni relative alle variabili
3) Impostare e ricevere eventi (bloccati e non bloccati)

A disposizione dei programmatori è presente una serie di software, documentazioni, tools, template, che permettono di creare codice LabVIEW riferendosi all'Interfaccia Shared Memory (22).

Per accedere alle funzioni della shared memory, un programma LabVIEW necessita di avere un indice che identifichi una determinata variabile. Ciò è effettuato dalla funzione Name2Id, che associa un indice al nome della variabile. Nell'IOC, i nomi delle variabili sono i nomi delle variabili di processo, (Process Variable, PV), che devono essere definiti prima dell'avvio dell'IOC, per mezzo del "db" file di cui si è parlato prima.

Il programma LabVIEW che effettua l'operazione di conversione del nome è chiamato GetPVs. Tale programma dichiara le variabili che interessano al programmatore. Fornendo pochi dettagli specifici di EPICS riguardo alla variabile, come lo scan rate, aggiunti al GetPVs, l'utility GenerateDB può avere le informazioni sufficienti alla generazione del file "db", del file di startup dell'IOC, e di un foglio di calcolo elettronico che documenti le variabili generate. Tale meccanismo fornisce un singolo punto in cui sono definite le variabili della shared memory e le PV EPICS: da parte del programmatore LabVIEW, e nel codice LabVIEW.

Inizializzazione

LabVIEW avvia l'IOC utilizzando un file di comando, e registra gli eventi che deve ricevere. L'IOC a questo punto si avvia e crea le variabili shared memory basandosi dal file "db" generato dal GetPVs. Successivamente, il GetPVs troverà e memorizzerà gli indici delle variabili in variabili globali LabVIEW. A questo punto l'interfaccia shared memory è stata stabilita, ed il programma LabVIEW può continuare.

3.3.4 Conclusioni

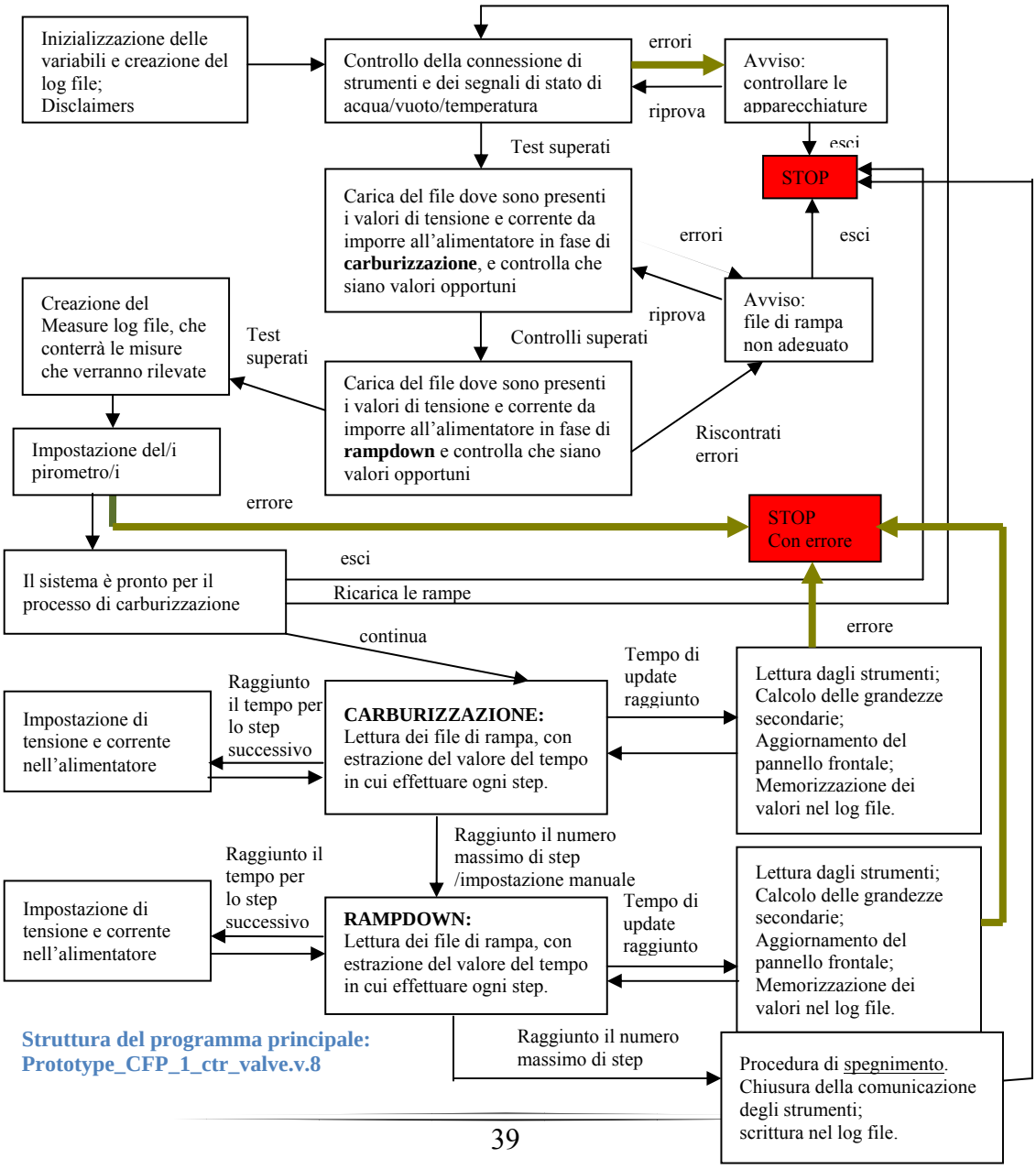
L'interfaccia Shared Memory fornisce una connessione tra l'applicazione LabVIEW ed il sistema di controllo basato su EPICS. Il programmatore LabVIEW dispone di una serie di software da utilizzare nello sviluppo di applicazioni LabVIEW/EPICS, e non è così necessario conoscere l'IOC EPICS per avere un sistema funzionante. Utilizzando l'Interfaccia Shared Memory, ogni applicazione del PC può essere resa disponibile al Channel Access, con i pieni benefici che si possono avere con il supporto di record EPICS.

Capitolo 4 - Il sistema di controllo dei forni

4.1 *Introduzione*

Il sistema di controllo dei forni di produzione prevede l'utilizzo di un'interfaccia grafica creata in LabVIEW, che operi in modo tale da:

- leggere dalla scheda di memoria del PLC le rampe: tabelle indicanti valori di corrente e tensione da imporre all'alimentatore nel tempo indicato;
- monitorare lo status degli strumenti ed interrompere il processo qualora si incontrino errori di comunicazione che potrebbero rivelarsi dannosi all'interno del processo;
- ricevere dagli strumenti le variabili desiderate(temperatura, emissività, corrente e tensione impostate), ed elaborarle per ricavarne delle grandezze secondarie desiderate memorizzandole infine in appositi file.


Inizializzazione delle variabili e creazione del log file; Disclaimers
Controllo della connessione di strumenti e dei segnali di stato di acqua/vuoto/temperatura
errori
riprova
Avviso: controllare le apparecchiature
esci
STOP
Test superati
Carica del file dove sono presenti i valori di tensione e corrente da imporre all'alimentatore in fase di **carburizzazione**, e controlla che siano valori opportuni
errori
esci
riprova
Avviso: file di rampa non adeguato
Creazione del Measure log file, che conterrà le misure che verranno rilevate
Test superati
Controlli superati
Carica del file dove sono presenti i valori di tensione e corrente da imporre all'alimentatore in fase di **rampdown** e controlla che siano valori opportuni
Riscontrati errori
Impostazione del/i pirometro/i
errore
STOP Con errore
Il sistema è pronto per il processo di carburizzazione
esci
Ricarica le rampe
continua
errore
Tempo di update raggiunto
Raggiunto il tempo per lo step successivo
Impostazione di tensione e corrente nell'alimentatore
CARBURIZZAZIONE: Lettura dei file di rampa, con estrazione del valore del tempo in cui effettuare ogni step.
Lettura dagli strumenti; Calcolo delle grandezze secondarie; Aggiornamento del pannello frontale; Memorizzazione dei valori nel log file.
Raggiunto il numero massimo di step /impostazione manuale
Raggiunto il tempo per lo step successivo
Impostazione di tensione e corrente nell'alimentatore
RAMPDOWN: Lettura dei file di rampa, con estrazione del valore del tempo in cui effettuare ogni step.
Tempo di update raggiunto
Lettura dagli strumenti; Calcolo delle grandezze secondarie; Aggiornamento del pannello frontale; Memorizzazione dei valori nel log file.
Raggiunto il numero massimo di step
Procedura di spegnimento. Chiusura della comunicazione degli strumenti; scrittura nel log file.

Struttura del programma principale: Prototype_CFP_1_ctr_valve.v.8

Nello schema precedente è mostrata la struttura a blocchi del programma standard utilizzato per il monitoraggio dei forni: Prototype_CFP_1_ctrl_valve.v.8.
Esso è realizzato secondo lo schema della macchina a stati di Moore: un ciclo while con all'interno una struttura case, a cui sono associati i numeri relativi ai vari stati che possono essere assunti dalla macchina.
Partendo da tale programma, il lavoro effettuato, illustrato in questo capitolo, è stato volto al miglioramento, mediante la realizzazione di ulteriori funzioni, quali:

1) calcolo della conducibilità
2) utilizzo di due alimentatori (camera/linea)
3) possibilità di lavorare senza termocoppia

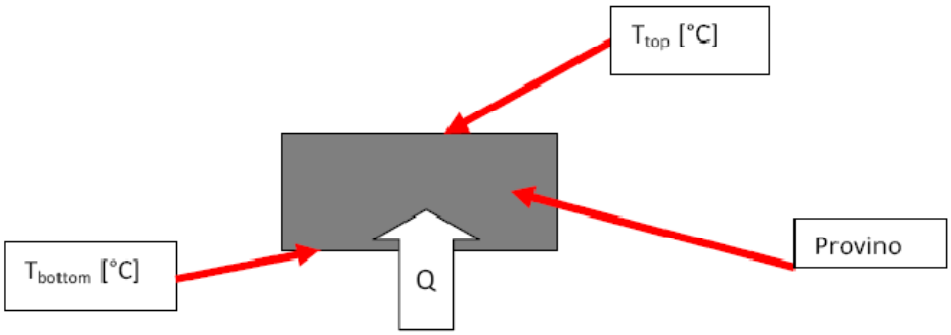
4.2 *Calcolo della conducibilità (23)*

Per il progetto SPES target è necessario abbassare il più possibile il gradiente termico che va ad influire sui dischi, in modo da abbassare le tensioni di origine termica. Conoscendo come avviene lo scambio termico e i parametri che lo interessano e sapendo, mediante la legge di Fourier ($\vec{q}(\vec{r},t) = -k * \nabla T(\vec{r},t)$), come lo scambio termico generi il gradiente termico, è possibile comprendere come abbassare quest'ultimo:

$$q_{12} = -\lambda \frac{(T_1 - T_2)}{(X_1 - X_2)}$$

Da tale relazione, conoscendo lo scambio termico q_{12} attraverso un disco di spessore h $(X_1 - X_2)$, aumentando la conducibilità λ il gradiente termico $(T_1\text{-}T_2)$ diminuisce, ed insieme ad esso anche gli stress di tipo termico.
Si nota dunque che la conducibilità termica assume un aspetto di rilevante importanza, essendo in questo caso l'unica variabile. Diventa di fondamentale importanza poter studiare questo parametro.
La conducibilità o conduttività termica (normalmente indicata con la lettera greca λ) è il flusso di calore Q (misurato in J/s ovvero W) che attraversa una superficie unitaria A di spessore unitario d sottoposta ad un gradiente termico ΔT.
In termini matematici si ha:

$$\lambda = \frac{Q * d}{T_{bottom} - T_{top}}$$



Tale definizione si ricava dalla legge di Fourier, determinante il flusso di calore instauratosi su di una superficie unitaria di spessore unitario sottoposta ad un gradiente termico.

La conducibilità termica dipende dalle caratteristiche fisico-chimiche del materiale preso in esame. I materiali con elevata conducibilità termica sono detti conduttori (termici) mentre quelli a bassa conducibilità termica sono definiti isolanti (termici).
Esiste una corrispondenza tra la capacità di trasmettere calore e la capacità di trasmettere elettricità di un materiale: un isolante termico è normalmente un pessimo conduttore elettrico. Eccezione è fatta dal diamante, ottimo conduttore termico ma isolante da un punto di vista elettrico.
La conducibilità non è una grandezza vettoriale, ma scalare ed è propria di ciascun materiale. Le sue dimensioni sono:

$$[\lambda] = [W] \cdot [m]_{-1} \cdot [k]_{-1}$$

facilmente ricavabili dalla legge di Fourier.
La conducibilità termica permette di classificare i diversi materiali in isolanti e conduttori termici, a seconda che assuma un valore più (conduttori) o meno elevato (isolanti). In generale i materiali isolanti hanno una $\lambda<1$.
La conducibilità termica di ciascun materiale è, però, influenzata dalla stessa temperatura. Ciò è dovuto alla dipendenza dalle caratteristiche fisiche e chimiche dei singoli elementi. Ad esempio, al crescere della temperatura, alcuni materiali isolanti aumentano la loro conducibilità, mentre certi conduttori, a causa della rottura dei legami cristallini perdono proprietà di condurre calore. Tutte queste serie di motivazioni rendono di fondamentale importanza il saper gestire questa grandezza.

4.2.1 Metodo di calibrazione della termocoppia

Per il calcolo della conducibilità, si è adottato, all'interno del progetto SPES, il metodo detto di calibrazione della termocoppia.
Le temperature in gioco sono misurate attraverso un pirometro, usato per rilevare la temperatura relativa alla parte superiore del provino; e di una termocoppia, usata per rilevare la temperatura della parte inferiore del provino.

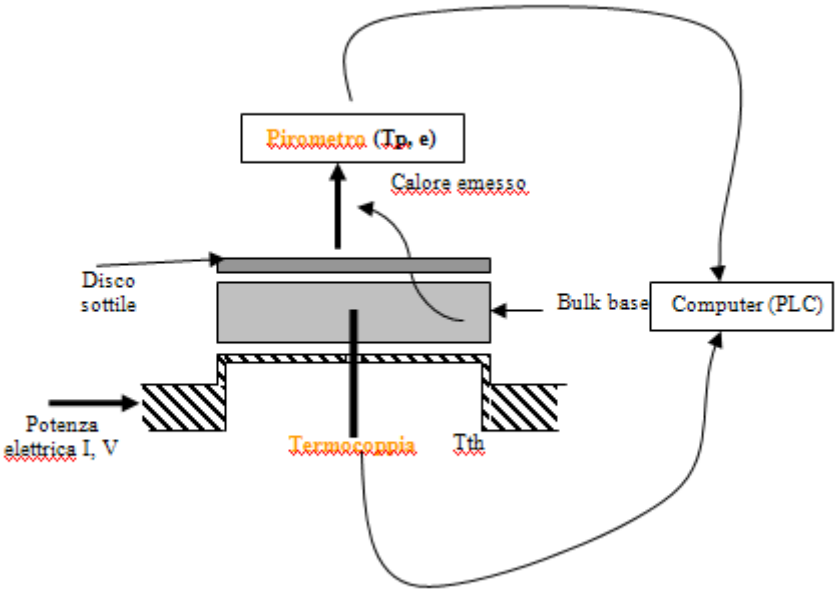
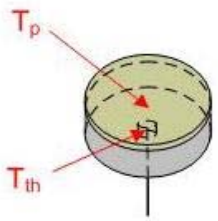


Figura 4.1 - misura delle temperature

Come si può notare dalla Figura 4.1, la termocoppia non misura in realtà la temperatura superficiale della parte inferiore del provino, ma in un punto differente. Di conseguenza, con questo apparato non è possibile misurare direttamente la differenza di temperatura nel campione.
Per risolvere il problema, viene misurato il gradiente di temperatura in un disco sottile, dove quindi la variazione di temperatura è limitata. Attraverso il metodo di calibrazione della termocoppia, si terrà in considerazione, durante le misure sul provino più spesso, la relazione tra variazione di temperatura alla base e la relativa misura da parte della termocoppia. Lo schema seguente riporta le varie tappe del metodo utilizzato:

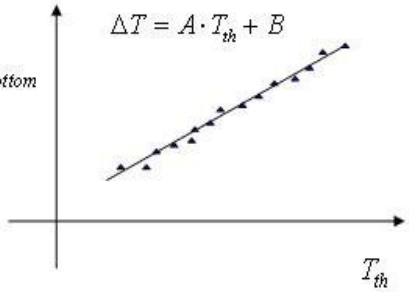
METODO DI CALIBRAZIONE DELLA TERMOCOPPIA

Misure su di un provino sottile

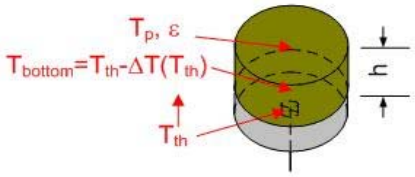


Calibrazione della termocoppia: correlazione di gradiente di temperatura e temperatura della termocoppia in base ai dati raccolti.

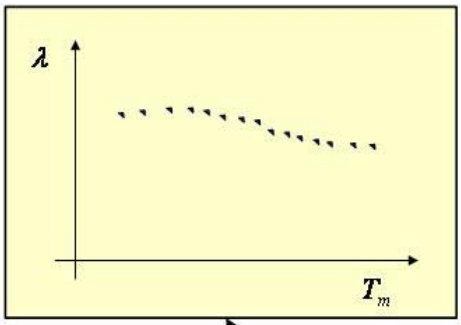
$$\Delta T = T_{th} - T_p = T_{th} - T_{bottom}$$



Misure su di un provino spesso. Usando la calibrazione della termocoppia si ottiene la temperatura approssimata della superficie inferiore



Definizione della conducibilità termica come funzione della temperatura media T_m



$$T_{ch} \approx \text{const} = 323.15°\text{K}$$

$$q'' = \sigma \cdot \varepsilon \cdot \left(T_{p(°K)}^4 - T_{ch(°K)}^4\right)$$

$$T_m = \frac{T_{bottom} + T_p}{2}$$

$$\lambda(T_m) = \frac{q'' \cdot h}{\left(T_{bottom} - T_p\right)}$$

4.2.2 Realizzazione del software

In tale ambito è richiesta una modifica del software di gestione del forno relativo ai test sui materiali (Figura 4.2), in modo tale da provvedere, in fase di monitoraggio, al calcolo della conducibilità ed all'aggiunta di tale valore nel file di misure.

Si è resa utile, a tale scopo, la creazione di due subVI, e la modifica del programma principale e del VI di scrittura del file di log.
I nuovi subVI creati sono destinati uno al calcolo della conducibilità, l'altro al calcolo della conducibilità in un sistema provvisto di due pirometri: Conductivity.vi e 2pyros_conductivities.vi.
Il programma principale ed il VI di scrittura del file di log sono, rispettivamente: Prototype_CFP_conductivity.vi, e StoreMeasuresTwoPyros_conductivity.vi.

Figura 4.2 forno di test sui materiali

4.2.2.1 *Conductivity.vi*

Conductivity.vi è il subVI destinato al calcolo della conducibilità. Esso assume in ingresso le variabili:

- T_p = Temperatura del pirometro in °C
- T_{th} = Temperatura della termocoppia in °C
- Emissività ε
- Linear A = coefficiente angolare della retta $\Delta T = A \cdot T_{th} + B$
- Linear B = intercetta della retta
- Thikness of target h: spessore del target in mm
- Error in: cluster di errore

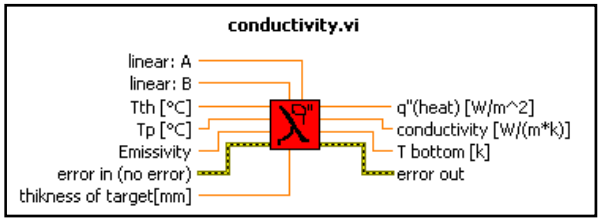


Figura 4.3 conductivity.vi: icona e connessioni

All'interno del VI vengono eseguite le operazioni che forniscono, in uscita, i seguenti valori:

- Calore $q = \sigma \cdot \varepsilon \cdot (Tp^4[K] - 323{,}15^4\ [K])\ [W/m^2]$
  Con $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8}\ Wm^{-2}K^{-4}s^{-1}$ costante di Stefan-Boltzmann
- $T_{bottom} = T_{th} - (A \cdot T_{th} - B)$
- Conducibilità $\lambda = \dfrac{q \cdot h[m]}{T_{bottom} - T_p} [W/mK]$

- Segnalazione di errore in caso di $T_{th} < T_{tp}$ (la conducibilità in questo caso sarebbe un numero negativo, non avrebbe senso)

Per la realizzazione, come é possibile vedere dalla Figura 4.4, si è utilizzato il formula node, particolare struttura che permette di inserire ed eseguire codice C.

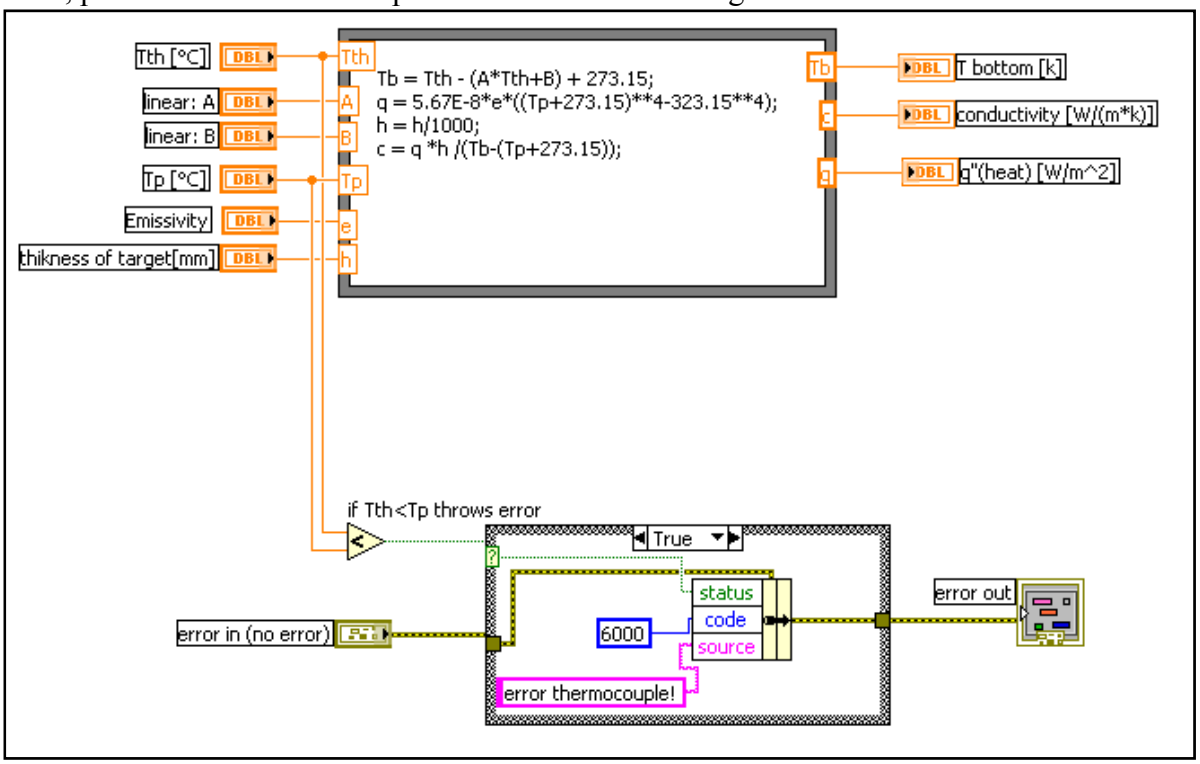


Figura 4.4 conductivity.vi: diagramma a blocchi

4.2.2.2 2pyros_conductivities.vi

Creato per permetter maggior ordine nel programma principale, questo subVI calcola la conducibilità nel caso si disponga di due pirometri nel sistema.
Per tale calcolo, necessita dell'ingresso dei seguenti valori:

- Temperatura della termocoppia in °C
- Temperatura di pirometro A e pirometro B in °C
- Emissività rilevata dai pirometri A e B
- Coefficienti della retta Tbottom = ATh + B: linear A e linear B
- Spessore del target in mm
- Yes cond, variabile booleana, indicante il consenso fornito, nel programma principale, al calcolo della conducibilità

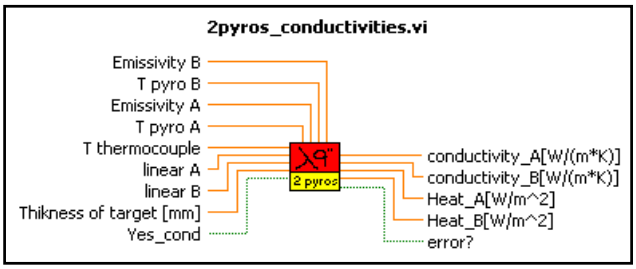


Figura 4.5 2pyros_conductivities.vi: icona e connessioni

Solo in caso la variabile yes_cond sia impostata come vera, vengono effettuate le operazioni di calcolo. In tal caso, per ogni pirometro è richiamato un Conductivity.vi, da cui vengono prelevati i valori d'uscita relativi a conducibilità e calore.
All'uscita di entrambi i VI richiamati, è prelevato inoltre il campo "status" del cluster di errore. Se si è riscontrato un errore in A o in B, mediante l'operatore logico OR tale informazione viene riportata sulla variabile booleana d'uscita "error?"

Si è scelto di non propagare il cluster d'errore in questo VI, per fare in modo che il processo del programma principale possa proseguire correttamente anche nel caso si manifesti un errore nel calcolo della conducibilità. Ad esempio, in situazioni in cui le temperature siano ancora ad un livello da non poter essere misurate dal pirometro: errore non critico, che non comporta la chiusura del programma.

In Figura 4.6 è mostrato il diagramma a blocchi del VI, sia in caso Yes_cond assuma valore vero, sia in caso assuma valore falso.

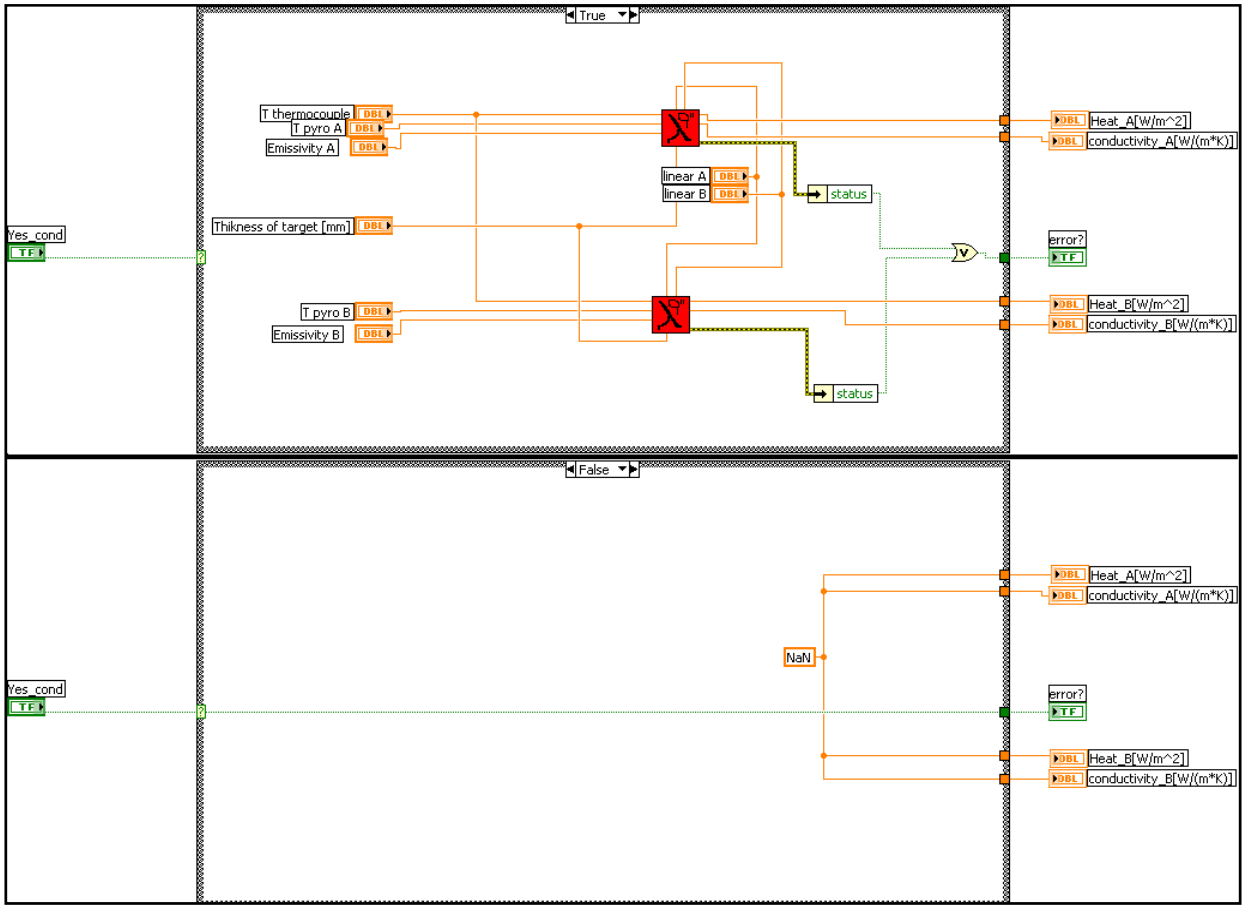
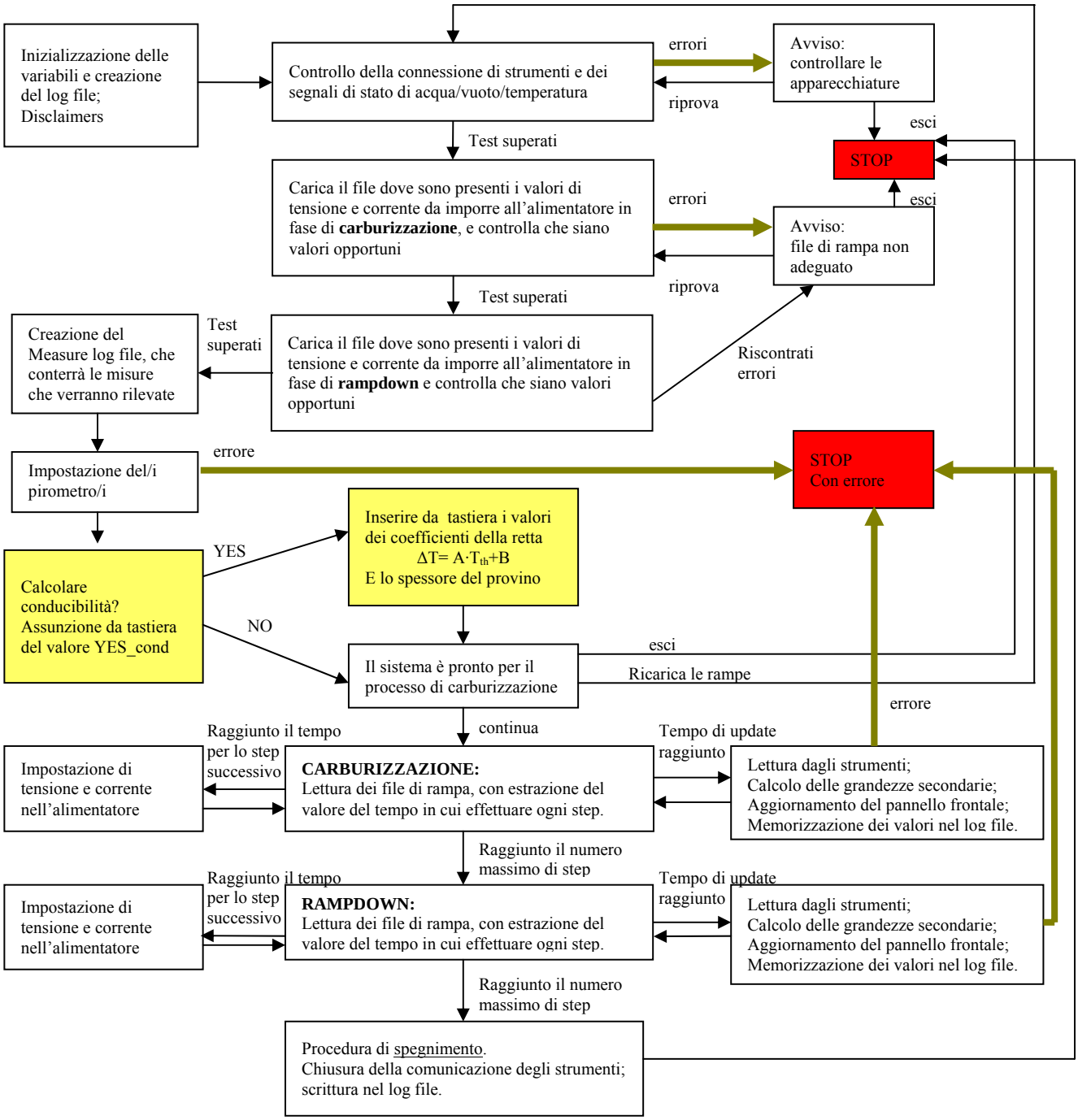


Figura 4.6 2pyros_conductivities.vi: diagramma a blocchi

4.2.2.3 Programma Principale: Prototype_CFP_conductivity.vi

È necessario ora apportare delle modifiche al programma principale precedentemente in uso: è qui di seguito riportato lo schema di tale programma, in cui sono evidenziati i nuovi stati inseriti, necessari per l'esecuzione delle nuove funzioni:


Inizializzazione delle variabili e creazione del log file; Disclaimers
Controllo della connessione di strumenti e dei segnali di stato di acqua/vuoto/temperatura
errori
riprova
Avviso: controllare le apparecchiature
esci
STOP
Test superati
Carica il file dove sono presenti i valori di tensione e corrente da imporre all'alimentatore in fase di **carburizzazione**, e controlla che siano valori opportuni
errori
riprova
Avviso: file di rampa non adeguato
esci
Test superati
Creazione del Measure log file, che conterrà le misure che verranno rilevate
Test superati
Carica il file dove sono presenti i valori di tensione e corrente da imporre all'alimentatore in fase di **rampdown** e controlla che siano valori opportuni
Riscontrati errori
Impostazione del/i pirometro/i
errore
STOP Con errore
Calcolare conducibilità? Assunzione da tastiera del valore YES_cond
YES
NO
Inserire da tastiera i valori dei coefficienti della retta ΔT= A·T_th+B E lo spessore del provino
Il sistema è pronto per il processo di carburizzazione
esci
Ricarica le rampe
errore
continua
Raggiunto il tempo per lo step successivo
Impostazione di tensione e corrente nell'alimentatore
CARBURIZZAZIONE: Lettura dei file di rampa, con estrazione del valore del tempo in cui effettuare ogni step.
Tempo di update raggiunto
Lettura dagli strumenti; Calcolo delle grandezze secondarie; Aggiornamento del pannello frontale; Memorizzazione dei valori nel log file.
Raggiunto il numero massimo di step
Raggiunto il tempo per lo step successivo
Impostazione di tensione e corrente nell'alimentatore
RAMPDOWN: Lettura dei file di rampa, con estrazione del valore del tempo in cui effettuare ogni step.
Tempo di update raggiunto
Lettura dagli strumenti; Calcolo delle grandezze secondarie; Aggiornamento del pannello frontale; Memorizzazione dei valori nel log file.
Raggiunto il numero massimo di step
Procedura di spegnimento. Chiusura della comunicazione degli strumenti; scrittura nel log file.

Struttura di Prototype_CFP_conductivity.vi

Nella tabella riportata inferiormente, sono elencati tutti gli stati che caratterizzano la macchina a stati relativa al programma corrente. Sono stati evidenziati gli stati che hanno necessitato di una modifica, o che sono stati aggiunti.

STATO	FUNZIONE
100	Start
300	Gestione Errore
350	Abort: sei sicuro?
400	Spegnimento (chiusura della comunicazione con gli strumenti)
450	Spegnimento DOPO ERRORE
500	Scrittura di “End” sul LogFIle ed uscita dal programma
550	Scrittura di “End” sul LogFIle ed uscita dal programma _DOPO ERRORE
600	Attesa per l’inizio della Carburizzazione
610	inizializza i contatori di tempo e step
620	controllo del tempo
630	scrittura di tensione e corrente
640	scrittura e memorizzazione di tutte le misure
650	inserimento di un commento
660	inserimento automatico del commento di step
700	conferma di Rampdown
710	inizializza i contatori di tempo e step
720	controllo del tempo
730	scrittura di tensione e corrente
740	scrittura e memorizzazione di tutte le misure
750	inserimento di un commento
760	inserimento automatico del commento di step
1000	Init (Disclaimers)
1001	controllo delle comunicazioni del sistema
1002	carica e controllo della curva di carburizzazione
1003	carica e controllo della curva di rampdown
1004	inserire indirizzo del file (Measure/Log)
1005	creazione del file di misure
1006	impostazione dello slope di UN pirometro
1007	impostare manualmente V=I=0
1008	impostazione dello slope di DUE pirometri
1010	domanda di calcolo della conducibilità
1011	inserimento di A e B da tastiera
1100	accensione degli strumenti
1101	verifica del file di rampa
2000	Esci

Riguardo al calcolo della conducibilità, l’ intervento è stato volto all’inserimento di una schermata d’interrogazione all’operatore, riguardo il calcolare o meno la conducibilità, con conseguente impostazione di parametri, quali coefficienti lineari e spessore del target. Si è intervenuto, inoltre, per provvedere all’aggiunta di indicatori e grafici nel pannello frontale, e di nuovi campi nel file di misure.

1.interrogazione sul calcolo della conducibilità – inserimento dei parametri da tastiera
Nelle operazioni svolte preliminarmente, quali controlli ed inizializzazione di variabili, in seguito all'impostazione da terminale dello slope del/i pirometri (case 1006/1008), il programma non procede più immediatamente all'acquisizione dei dati (case 600), ma è previsto l'indirizzamento verso la schermata in cui viene chiesto all'utente se eseguire o meno il calcolo della conducibilità(case 1010).

In caso di risposta affermativa, nello stato successivo (1011) sul pannello frontale viene richiesto l'inserimento da tastiera dei coefficienti della retta $\Delta T = A \cdot T_{th} + B$ e dello spessore del provino. Di default questi valori, in seguito a rilevazioni sperimentali nel forno in questione stati impostati a:

A = 0.1676
B = -110.3
spessore = 8.5 mm.

2.Acquisizione dati
In fase di lettura dei dati che gli strumenti inviano al PLC, è stato inserito il calcolo delle nuove grandezze secondarie richieste. A tale calcolo si è fatto corrispondere anche il relativo aggiornamento del pannello frontale mediante inserimento di indicatori e grafici, sia nella schermata di Carburizzazione, sia in quella di Rampdown.
Per fare ciò, si è introdotto nel diagramma a blocchi relativo a questi stati (rispettivamente, 640 in fase di Carburizzazione e 740 in fae di Rampdown) il VI 2pyros_conductivities. Le uscite relative a conducibilità e calore sono mostrate sul pannello frontale attraverso i relativi indicatori e grafici.

In Figura 4.7 è riportato il diagramma a blocchi relativo ai casi 640 o 740.

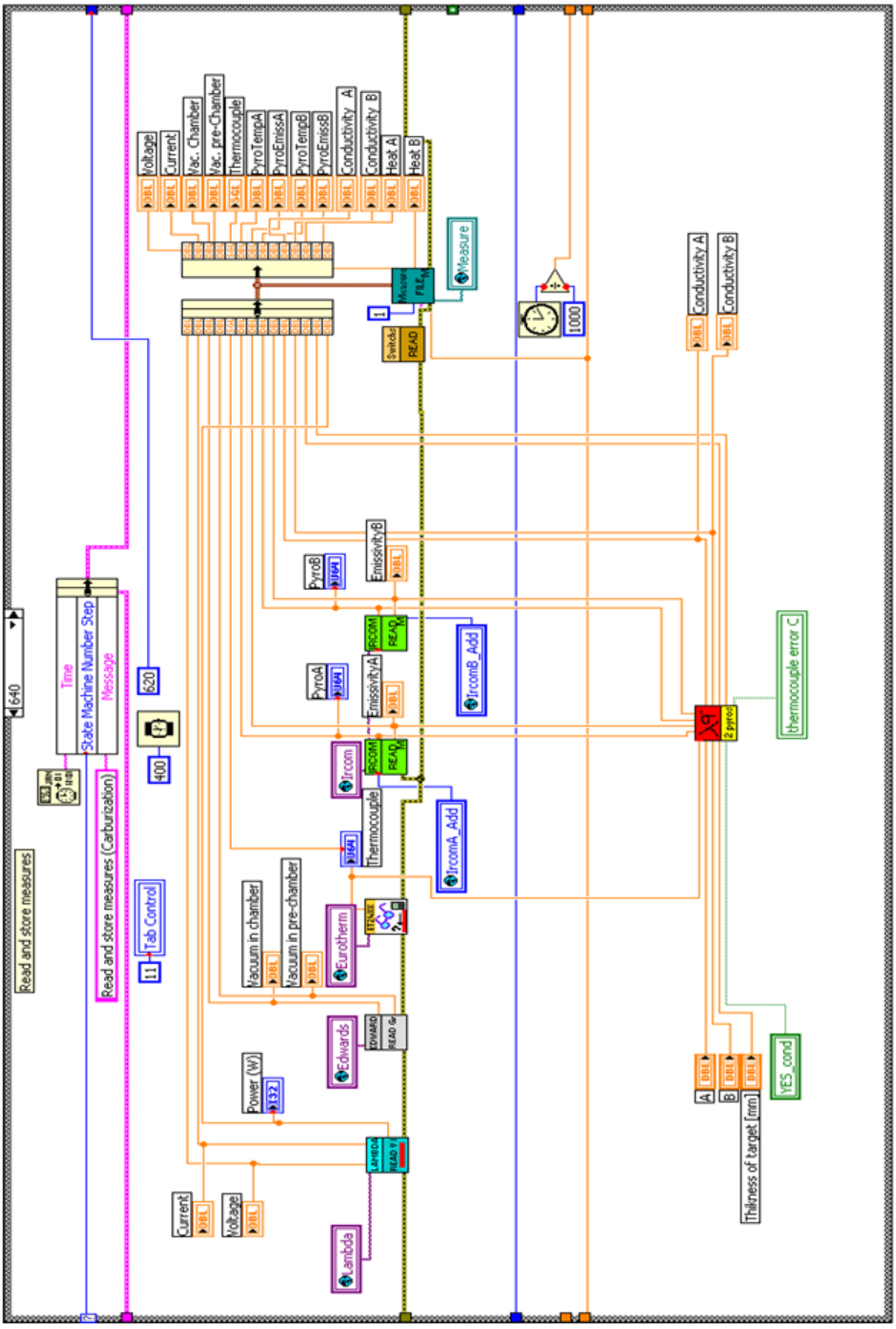


Figura 4.7 fase di acquisizione dati, diagramma a blocchi

3. Memorizzazione delle misure

Poiché si vuole tenere memoria dei nuovi campi nel file di misure, è necessaria la modifica di uno specifico VI:

4.2.2.4 StoreMeasuresTwoPyros_conductivity.vi.

VI dedito alla creazione e scrittura del file di misure, ottenuto attraverso la modifica del precedente StoreMeasuresTwoPyros.vi, con l'aggiunta dei campi relativi a: conducibilità, calore, potenza.

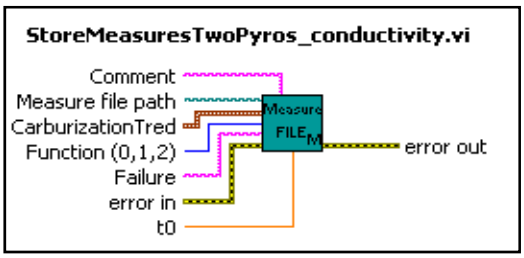
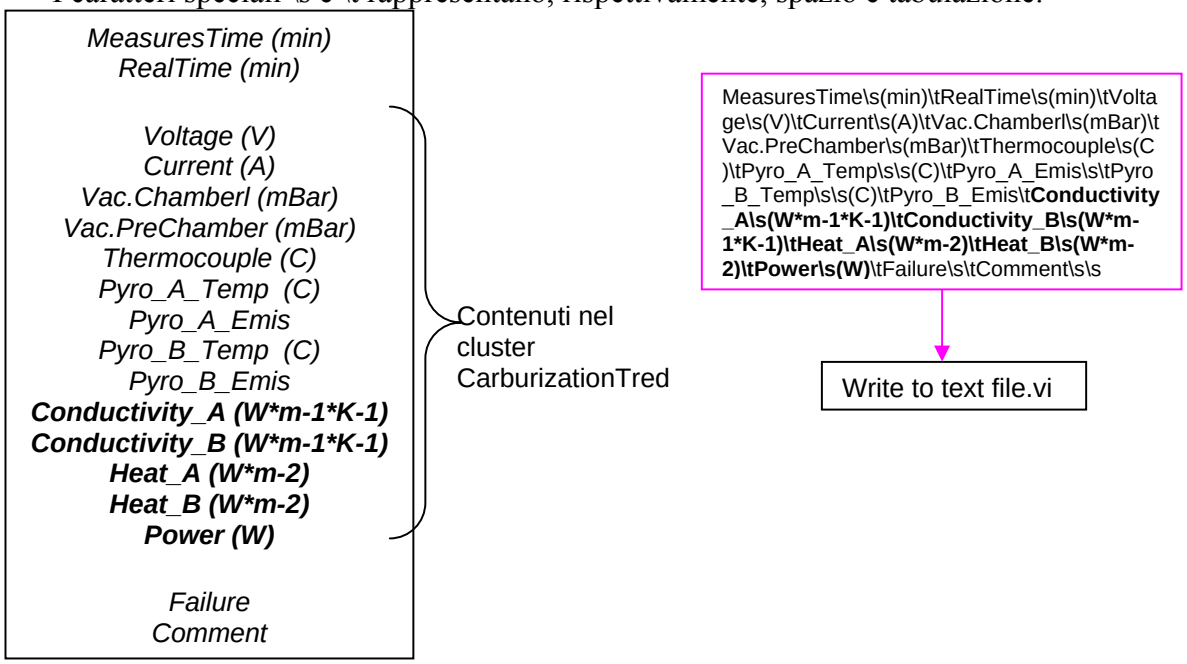


Figura 4.8 StoreMeasuresTwoPyros_conductivity.vi: icona e connessioni

Fornendo come ingresso "Function" un numero da 0 a 2, è possibile eseguire diverse funzioni:

0) creare un nuovo file,

con l'intestazione relativa ad ogni colonna. Nello schema riportato qui sotto, sono elencate le intestazioni che compariranno in ogni colonna, attraverso la scrittura della stringa(bordata in rosa) nel file di testo.
I caratteri speciali \s e \t rappresentano, rispettivamente, spazio e tabulazione.



1) aggiungere una nuova riga con le misure

dato il cluster CarburizationTred, contenente tutte le misure da memorizzare, viene effettuata la conversione di ogni numero in stringa, con la generazione

una stringa vuota in caso il numero in questione sia invece NaN. Tali stringhe sono infine concatenate tra di loro, separate da segni di tabulazione, e scritte in coda al file. In ogni colonna viene così rappresentata la relativa misura.

Le prove eseguite su macchina hanno rivelato un problema di portabilità dei file di misure, dovuto al diverso separatore decimale usato in macchine diverse. Il file veniva scritto utilizzando come separatore il punto. Se in seguito tale file veniva incollato in una tabella Excel che adottava la virgola, ci si trovava di fronte a dati di ordini di grandezza evidentemente errati.
Si è dunque di ovviare a questo problema, mediante la scrittura dei dati secondo notazione esponenziale, operazione eseguibile durante la conversione numero-stringa.

2) **aggiungere un commento all'ultima riga considerata**

4.2.3 Conclusioni

Il software presentato è attualmente utilizzato nel forno destinato ai test sui materiali. Gli unici problemi riscontrati durante l'esecuzione, e prontamente sistemati, sono stati quelli relativi al problema di portabilità dei file di misure. Si può concludere che le modifiche effettuate siano state corrette e funzionali.
In Figura 4.9 è possibile vedere il programma principale in esecuzione. In questo caso, si disponeva solamente di un pirometro. Inoltre, è possibile vedere che la temperatura presente nella campana non era ancora abbastanza elevata da far funzionare correttamente la termocoppia: l'indicatore di errore termocoppia è attivo, e la conducibilità calcolata è negativa.

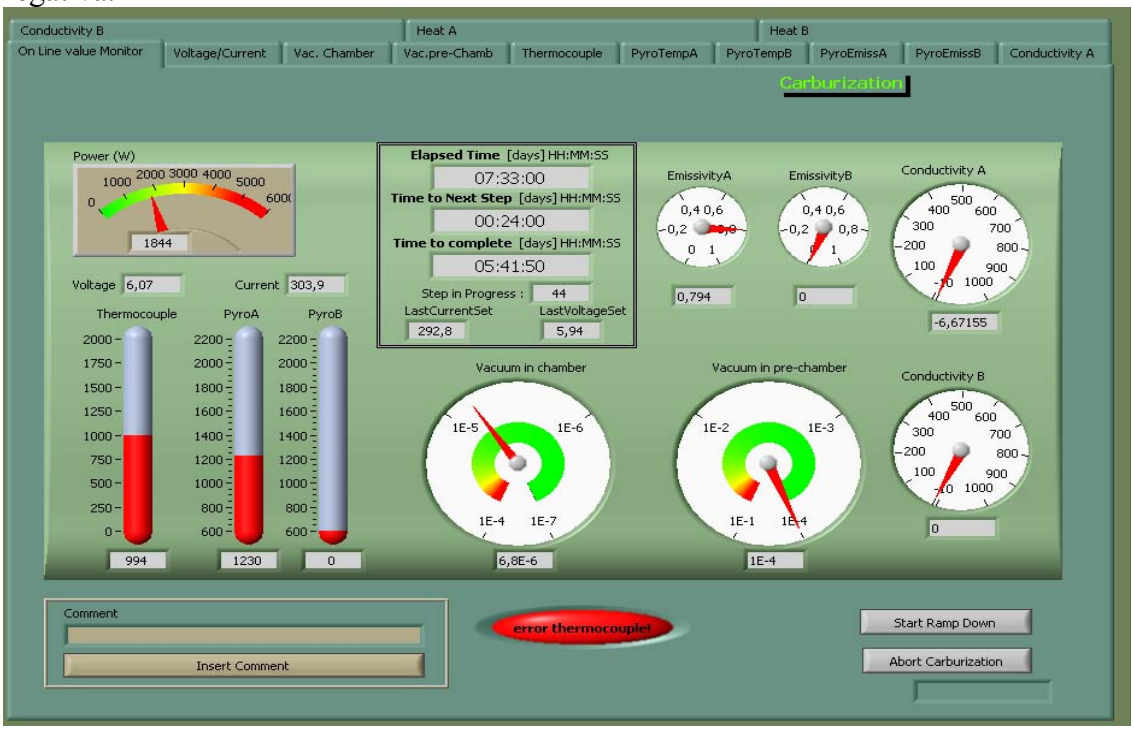


Figura 4.9 programma principale in esecuzione

4.3 *utilizzo di due alimentatori (camera/linea)*

Nel forno destinato ai test termo meccanici presente all'LNL, è previsto l'utilizzo di due alimentatori che alimentino separatamente uno la camera e l'atro il resto della linea. Ciò per emulare quella che sarà la struttura del progetto finale SPES.

Si è quindi dovuto procedere all'installazione e configurazione di un secondo alimentatore, con l'apporto delle modifiche sul programma di gestione.

Alimentatore principale(camera)
Connesso alla scheda principale del PLC attraverso la porta COM2, può essere programmato mediante l'invio di comandi quali imposta tensione, imposta corrente, leggi tensione, leggi corrente…
Esso è utilizzato per l'alimentazione della camera

Alimentatore secondario(linea)
Utilizzato per l'alimentazione della linea.

Installazione e configurazione

Il secondo alimentatore dev'essere impostato in modo da poter essere comandato sia manualmente che da remoto, agendo eventualmente in parallelo al primo.
Per questo motivo, si è utilizzato un apposito connettore, realizzato secondo le direttive fornite dal data sheet:

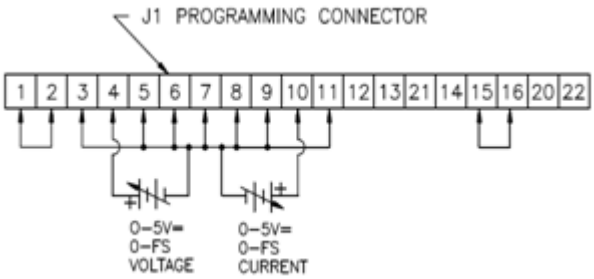


Figura 4.10 Configurazione del connettore per il controllo da remoto dei canali di tensione e corrente

La configurazione riportata permette, fornendo una tensione da 0 a 5 V, di controllare il canali di tensione e corrente dell'alimentatore da 0 a fondo scala (10 V, 1000 A).
Si è optato di effettuare l'impostazione di tensione e corrente nel sistema mediante un modulo aggiuntivo del PLC: cFP-AIO-610. Tale modulo è fornito di quattro canali analogici di input, e quattro analogici di output. Possiede inoltre una risoluzione di 12 bit, che lo rende capace di erogare tensioni da 0 a 10 V.
In tale modulo, i comandi di tensione e corrente relativi all'alimentatore sono stati collegati rispettivamente ai canali Output 0 e Output1. Considerando che la risoluzione di 12 bit consente al modulo di erogare tensioni da 0 a 10 V, per l'erogazione di tensioni da

0 a 5 V, quantità massima per il controllo dei canali dell'alimentatore, si hanno quindi a disposizione 11 bit.
Perciò, il minimo step di corrente impostabile corrisponderà a $^{1000\,A}/_{2^{11}} = 0.488\,A$; analogamente, il minimo step di tensione impostabile sarà di $^{10\,V}/_{2^{11}} = 0.0024\,V$.

È stato rilevato e segnalato all'azienda fabbricatrice un problema hardware relativo a questo modulo: all'accensione, per pochi istanti eroga una tensione corrispondente al proprio fondo scala. Non è certo un problema irrilevante, considerando che la tensione erogata corrisponde ad un segnale di controllo di tensione e corrente per l'alimentatore, che vengono quindi portati bruscamente ai valori di fondo scala: 10 V e 1000 A.
Si è fatto pertanto realizzare il ritardo dell'abilitazione degli alimentatori rispetto all'alimentazione del PLC, ricavato tramite relè alimentato in parallelo al PLC stesso. Aprendo lo sportellino in cui è contenuto il PLC, l'alimentazione è tolta, il relè si diseccita, ed il controllore, vedendo ciò, toglie il consenso di erogazione agli alimentatori. Alla richiusura dello sportellino, tale consenso viene riconcesso dopo 60 secondi. La situazione è inoltre segnalata sul touch screen del controllore, mediante un indicatore che passa da rosso(mancanza consenso) a verde(PLC acceso, trascorsi 60 secondi).

4.3.1 Controllo da remoto

In seguito all'impostazione del sistema, si è proceduto con alcuni test sperimentali, volti al verificare l'effettiva possibilità di controllare i canali dell'alimentatore di linea da remoto: mediante alimentatore esterno, e da PC.
Operando mediante alimentatore esterno, si fa svolgere a questo la funzione che in seguito verrà effettuata dal modulo del PLC: impostazione di tensione per pilotare i canali dell'alimentatore.
Operando invece da PC, si fa utilizzo del software Measurement & Automation Explorer per pilotare le uscite del modulo del PLC. Utilizzando questo software è infatti possibile scrivere direttamente nei canali Output 0 ed Output 1, relativi al controllo di tensione e corrente. In Figura 4.11 è mostrata la schermata di MAX in cui è svolta tale operazione.
Questo stesso metodo sarà inoltre utilizzato nel programma di gestione del sistema del forno: impostando un valore di tensione da 0 a 5 V, è possibile ottenere

- tensione da 0 a 10V
  è necessario dunque dividere per 2 il valore di tensione desiderato prima di scriverlo sul canale Output 0.
- corrente da 0 a 1000A
  è necessario dunque dividere per 200 il valore di corrente desiderato prima di scriverlo sul canale Output 1

Nella tabella e nel grafico riportati di seguito (Figura 4.12) sono indicati i valori ottenuti mediante il controllo di Output 1 attraverso MAX.
Dall'equazione della retta di tendenza f(x) = 0.99x -0.24 e dal valore unitario della correlazione R tra il valore desiderato e quello letto dallo strumento, è possibile constatare l'esecuzione corretta dell'operazione.

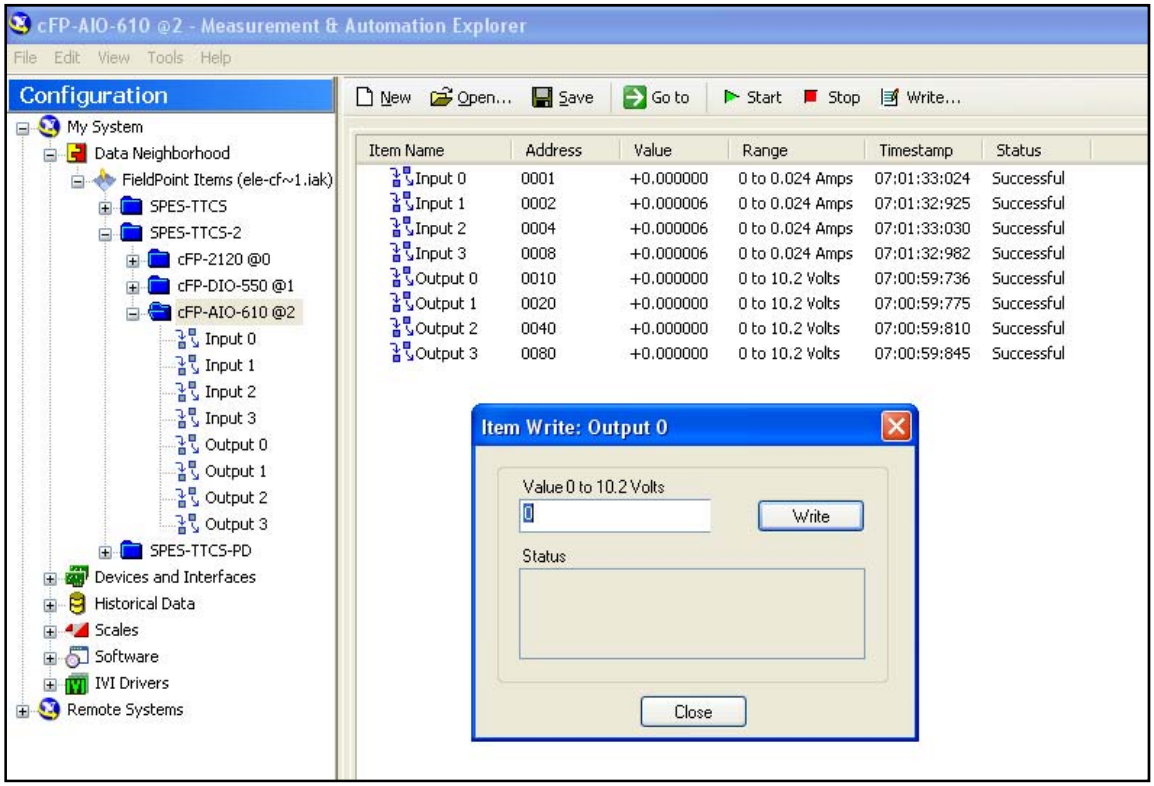


Figura 4.11 impostazione degli output in MAX

Corrente desiderata (A)	Tensione impostata (V)	Corrente letta (A)
0	0	0
10	0,05	10
20	0,1	20
30	0,15	30
40	0,2	40
50	0,25	49
60	0,3	59
70	0,35	69
80	0,4	79
90	0,45	89
100	0,5	99
110	0,55	109
120	0,6	119
130	0,65	129
140	0,7	139
150	0,75	149
160	0,8	159
170	0,85	169
180	0,9	179
190	0,95	189
200	1	199

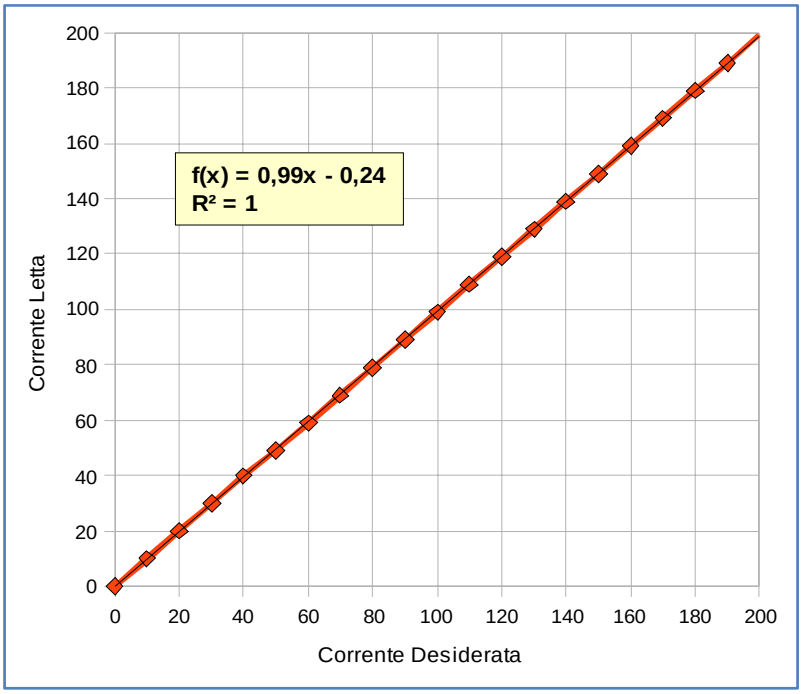


Figura 4.12 impostazione di Output 1 da MAX: relazione tra corrente desiderata e corrente letta

4.3.2 Realizzazione del software

Al software precedentemente presentato, sono state necessarie delle modifiche relative alla lettura dal PLC dei file di rampa, con l'aggiunta delle colonne relative a tensione e corrente da impartire al nuovo alimentatore; modifiche ulteriori sono state inoltre apportate nelle varie fasi di impostazione/lettura di corrente e tensione dal nuovo strumento.
A tal proposito, è stato creato un nuovo subVI per il controllo del secondo alimentatore, e sono inoltre stati coinvolti nelle modifiche i VI riportati di seguito:

4.3.2.1 Gbl_VISA_Res_Names2.vi

Gbl_VISA_Res_Names2.vi contiene la definizione globale degli indirizzi dei vari strumenti collegati al PLC. Tra tali variabili sono state aggiunte quelle relative alle variabili da pilotare nel secondo alimentatore: Lambda 2 Voltage e Lambda 2 Current. Esse terranno memoria degli indirizzi Output 0 ed Output 1.

4.3.2.2 SetVI_SecondLambda.vi

Il SetVI_SecondLambda.vi è stato creato con il compito di scrivere nel modulo del PLC le uscite Output 0 ed 1, in modo da impostare i desiderati valori di tensione e corrente dell'alimentatore. Come si nota dalla Figura 4.13, tali valori sono ricevuti dal VI come ingressi, insieme alle variabili globali dei relativi indirizzi.

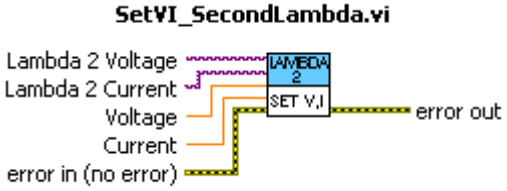


Figura 4.13 SetVI_SecondLambda.vi - icona e connessioni

In questo VI viene elaborato il valore delle tensioni da settare sul modulo analogica, in modo da pilotare in modo desiderato l'alimentatore. Tale valore è ottenuto con la stessa metodologia utilizzata su MAX: il valore di tensione inviato al modulo è ricavato dividendo per 2 il valore di tensione desiderato e per 200 il valore di corrente desiderato.
La Figura 4.14 riporta il diagramma a blocchi di tale VI:

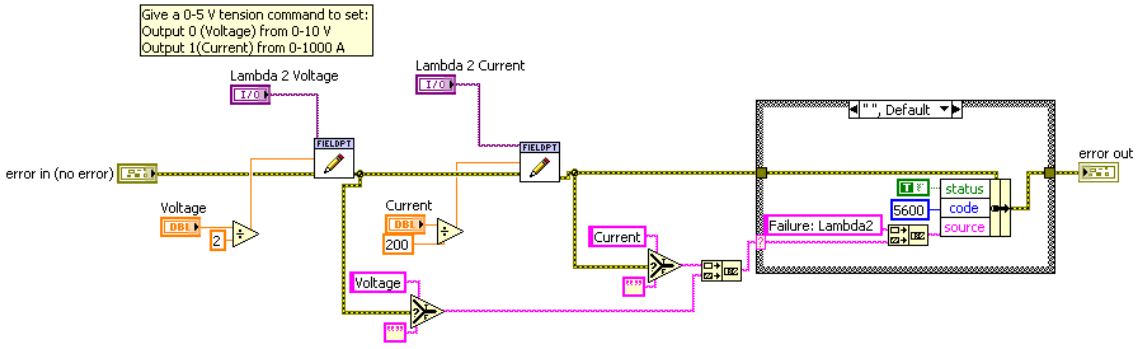


Figura 4.14 SetVI_SecondLambda.vi - diagramma a blocchi

4.3.2.3 Gbl_Ramps2Lambda.vi

Gbl_Ramps2Lambda.vi contiene le variabili globali relative alle rampe: due matrici bidimensionali, corrispondenti agli stati di Carburizzazione e Rampdown. Tali matrici sono state ampliate di due colonne, in modo da contenere i nuovi campi di tensione e corrente della linea.

4.3.2.4 RampExtractor2Lambda.vi

RampExtractor2Lambda.vi fornisce, dati in ingresso una rampa ed il valore dello step attuale, i valori di tensione e corrente da impostare nello step successivo, ed il tempo di durata dello stesso.
Ciò viene effettuato prelevando i corretti valori della rampa: ad ogni colonna corrisponde una variabile, mentre ad ogni riga corrisponde uno step.
In questo VI sono stati aggiunti gli ulteriori due campi da estrarre dalle rampe, relativi alla nuova tensione ed alla nuova corrente.

4.3.2.5 StoreMeasuresTwoPyros2Lambda.vi

StoreMeasuresTwoPyros2Lambda.vi è il VI di scrittura dei dati raccolti. In esso, analogamente a quanto fatto nel caso del calcolo della conducibilità su StoreMeasuresTwoPyros_conductivity.vi, sono stati aggiunti i campi relativi a Voltage2 e Current2.
Data la particolare configurazione del connettore del secondo alimentatore, non è però possibile la lettura da PLC del valore reale di V2, I2 presenti. Essi sono unicamente leggibili dal pannello fisico. Vengono dunque stampati sul file di misure i valori di tensione e corrente impostati su tale alimentatore, solo a fine indicativo.

4.3.2.6 RampsCheck2Lambda.vi

RampsCheck2Lambda.vi è responsabile dei controlli sui file di rampa ricevuti dalla scheda di memoria del PLC.

- controlla il tempo(delay) tra uno step ed il successivo: se non soddisfa le specifiche minime, questo subVI termina con messaggio d'errore, che viene riportato sul pannello frontale del programma principale, senza procedere ai controlli successivi:
- controlla in sequenza il range di tensione sulla camera, corrente sulla camera, tensione sulla linea, corrente sulla linea, valve.
  Se non soddisfano i valori richiesti, l'esecuzione del VI termina al relativo passo, e nel pannello frontale del programma principale sarà riportato un messaggio d'errore

La modifica apportata all'interno di questo VI è stata l'aggiunta dei controlli relativi a tensione e corrente sulla linea.

4.3.2.7 Prototype_CFP_2_lambda.vi

Prototype_CFP_2_lambda.vi è la modifica del programma principale. Non è stato necessario inserire nuovi stati rispetto a Prototype_CFP_ctrl_1_valve.v.8.vi, sono solamente stati adattati quelli già presenti.

1. Fase di operazioni preliminari

All'avvio del programma (case 100) è impostata l'inizializzazione delle nuove variabili inserite:

- i cluster Carburization Ramp Report e RampdoDown Report, che riportano le rampe appena lette dai file nel PLC, ampliati per far spazio ai nuovi campi tensione e corrente, in questa fase sono inizializzati a zero.
- Azzerata la storia precedente dei nuovi grafici Voltage2, Current2, Voltage RD2 e Current RD2.
- Inizializzato a Falso l'indicatore di errore nel passaggio del test preliminare per Lambda2.

Durante il controllo della comunicazione degli strumenti (case 1001) è stato aggiunto il test di comunicazione con la scheda analogica che comanda il nuovo alimentatore. Tale test è effettuato tramite l'impostazione di tensione e corrente a 0 (utilizzando il SetVI_SecondLambda), e la creazione del relativo indicatore sul pannello frontale, che prelevi lo status di errore dal subVI utilizzato. In questo stadio sono inoltre inizializzate le due nuove variabili globali relative agli indirizzi in cui impostare rispettivamente tensione e corrente.(Output 0 ed Output 1 nella scheda analogica cFP-AIO 610).

Quando in seguito vengono caricati e controllati i file di rampa per la creazione delle variabili di Carburizzazione e Rampdown (case 1002-1003), viene utilizzato il nuovo RampsCheck2Lambda.vi. Parallelamente, sono stati aggiunti sul pannello frontale, i campi riportanti i valori massimi di tensione relativi al secondo alimentatori riportati nei file di rampa.(Figura 4.15)

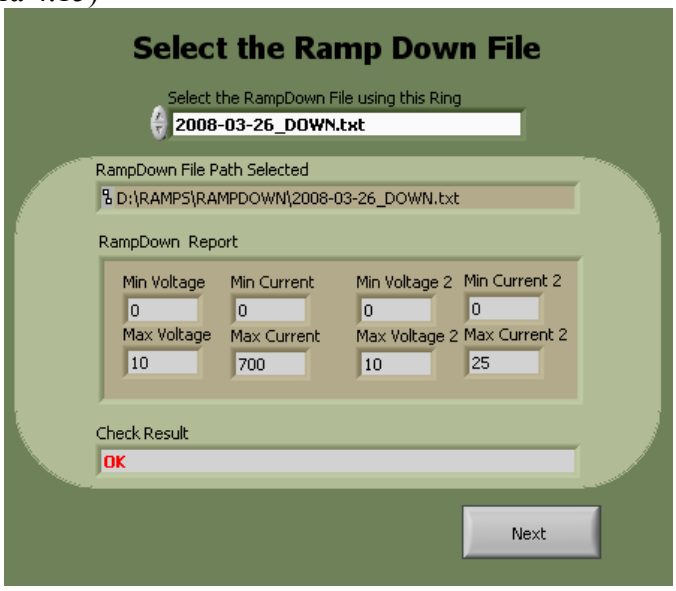


Figura 4.15 pannello frontale - verifica del file di Rampdown

2. Fase di acquisizione dati

In fase di acquisizione dati, ad ogni step è necessaria l'estrazione del relativo valore della rampa da inviare all'alimentatore. In questo contesto, nei casi 620, 630, 720, 730 è stato inserito il RampExtractor2Lambda.

Come affermato precedentemente, data la configurazione hardware prevista per il controllo da remoto dell'alimentatore di linea, non è possibile ricevere da tale alimentatore alcuna informazione circa il suo stato reale. Non si possono dunque monitorare da PLC i valori di tensione e corrente realmente agenti, ma unicamente osservandoli dal pannello fisico. Per questo motivo, sul pannello principale e nel file di misure, vengono scritti i valori di tensione e corrente inviati, (e non ricevuti) al dispositivo.

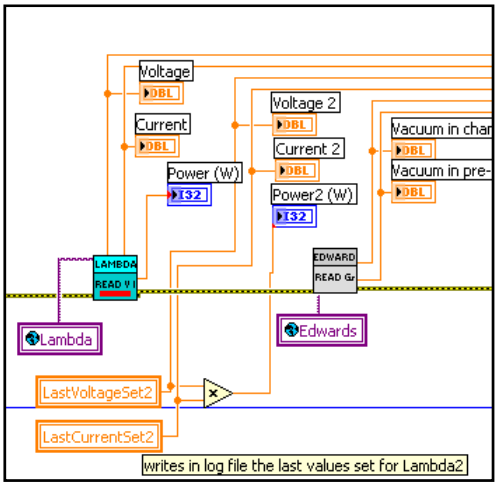


Figura 4.16 case 640-740: scrittura di Voltage2 e Current2 su pannello frontale e file di misure

In Figura 4.16 è mostrato un particolare degli stati 640-740 che conferma quanto appena asserito: Voltage 2 e Current 2 non sono lette dagli strumenti, come le altre variabili, ma sono le ultime impostate sullo strumento.

3. Chiusura del programma

Al momento della chiusura del programma, sia in caso di errore, sia in caso di funzionamento normale, è necessario impostare le variabili di tutte le apparecchiature a 0. Negli stati volti a questa funzione (400 e 450), è stata aggiunta l'impostazione di corrente e tensione di linea a 0, attraverso l'utilizzo del SetVI_SecondLambda.vi.

4.4 *Possibilità di operare senza termocoppia*

Durante il test del programma appena descritto sull'impianto, si è reso utile trovare un sistema che permetta di lavorare nonostante l'assenza della termocoppia.
A tale scopo, si può operare su di uno degli switch reperibili sul modulo principale del PLC (Figura 4.17), in modo tale che quando questo sia impostato a 1 il programma lavori senza effettuare le operazioni sulla termocoppia, e senza fermarsi per assenza di comunicazione con tale strumento. A questo scopo, si è scelto di usare lo switch all'indirizzo Input1, e di associarvi l'illuminazione del LED A.

Input 1 = 0	**Input 1 = 1**
LED A = 0 = OFF	LED A = 1 = ON
Lavoro CON termocoppia	Lavoro SENZA termocoppia

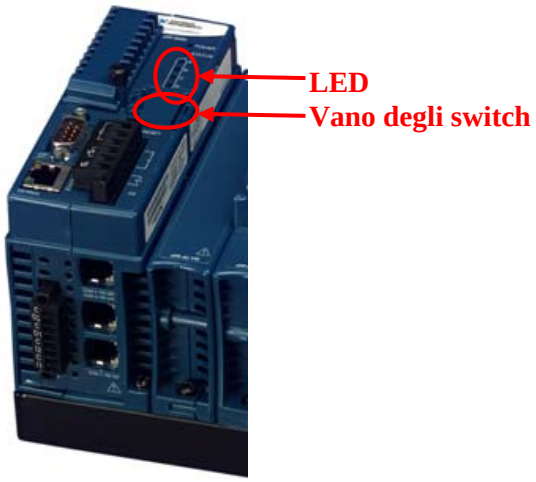


Figura 4.17 modulo principale del PLC: LED e switch

Nella Figura 4.18 è riportata la schermata Measurement & Automation Explorer relativa al modulo principale del PLC: si possono distinguere i quattro switch presenti (input booleani), ed i quattro LED disponibili (output)

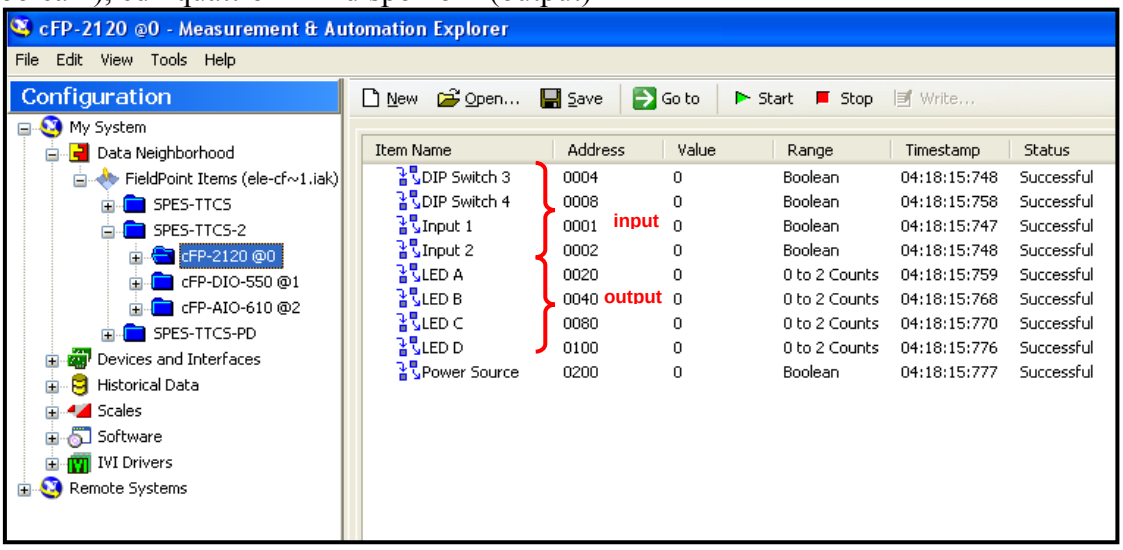

cFP-2120 @0 - Measurement & Automation Explorer
File Edit View Tools Help
Configuration
My System
Data Neighborhood
FieldPoint Items (ele-cf~1.iak)
SPES-TTCS
SPES-TTCS-2
cFP-2120 @0
cFP-DIO-550 @1
cFP-AIO-610 @2
SPES-TTCS-PD
Devices and Interfaces
Historical Data
Scales
Software
IVI Drivers
Remote Systems
New Open... Save Go to Start Stop Write...
Item Name Address Value Range Timestamp Status
DIP Switch 3 0004 0 Boolean 04:18:15:748 Successful
DIP Switch 4 0008 0 Boolean 04:18:15:758 Successful
Input 1 0001 0 Boolean 04:18:15:747 Successful
Input 2 0002 0 Boolean 04:18:15:748 Successful
LED A 0020 0 0 to 2 Counts 04:18:15:759 Successful
LED B 0040 0 0 to 2 Counts 04:18:15:768 Successful
LED C 0080 0 0 to 2 Counts 04:18:15:770 Successful
LED D 0100 0 0 to 2 Counts 04:18:15:776 Successful
Power Source 0200 0 Boolean 04:18:15:777 Successful
input
output

Figura 4.18 schermata MAX relativa al modulo principale del PLC

4.4.1 Realizzazione del software

Nella realizzazione di quanto descritto, è necessario tenere conto, ad inizio programma, dello stato dello switch. In base ad esso, in varie fasi del programma, si attueranno o meno certe funzioni relative alla termocoppia.

4.4.1.1 Gbl_thermocouple.vi

Gbl_thermocouple.vi definisce la variabile globale booleana che nel programma principale terrà conto dello stato dello switch: “Disable Thermocouple”.

4.4.1.2 Prototype_CFP_2_Lambda.vi

Si tratta del programma che utilizza i due alimentatori, descritto precedentemente.

1. Fase di operazioni preliminari

Nel momento della verifica della comunicazione con i vari strumenti (case 1001), viene inizializzata la variabile globale “Disable Thermocouple”, mediante un controllo sul valore assunto da Input 1. Nello stesso momento viene inoltre impostato il relativo valore di LED A.

Segue a ciò il controllo di comunicazione con la termocoppia.

In Figura 4.19 è riportato il diagramma a blocchi relativo a questo passo, in cui le operazioni dipendono strettamente dal valore assunto dalla variabile globale Disable Thermocouple:

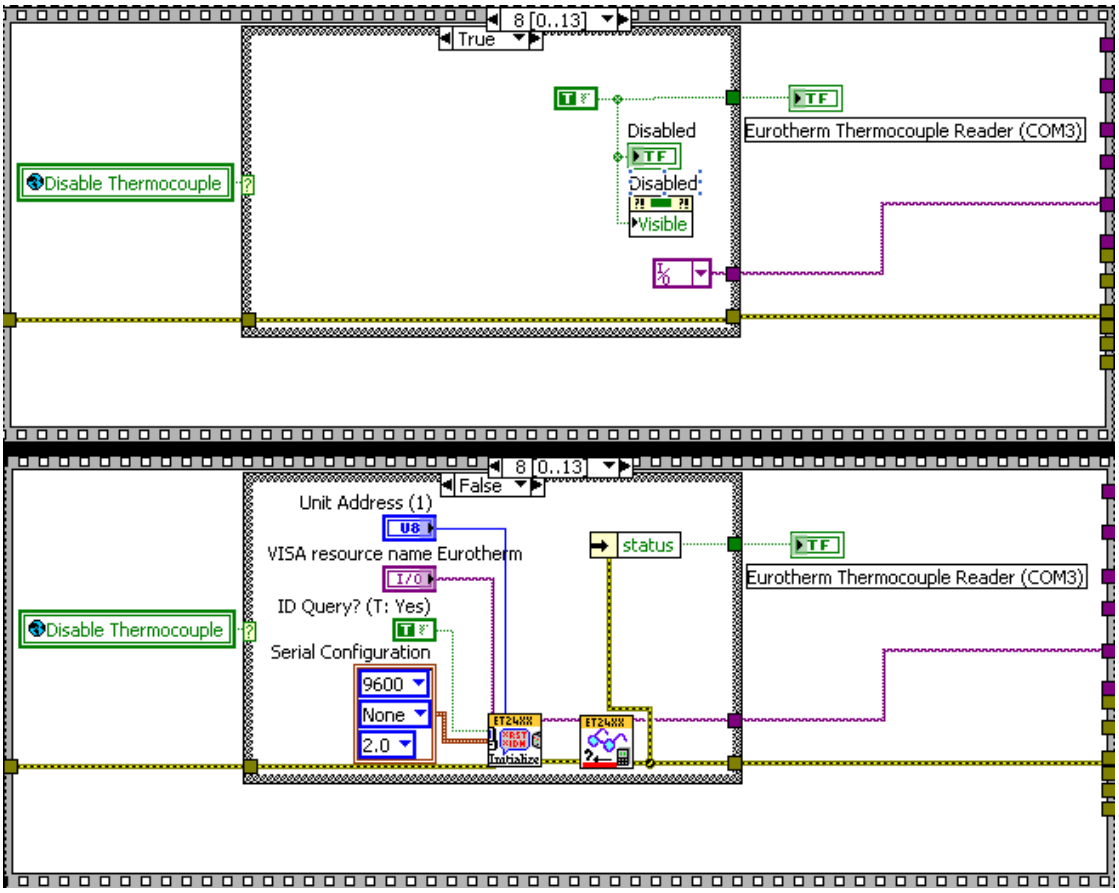


Figura 4.19 Disable Thermocouple: vero e falso

- se Disable Thermocouple assume valore VERO (Input 1 = 1)
  non viene effettuato il controllo di comunicazione.
  Il relativo indicatore sul Pannello Frontale indicherà "Not Passed", come in caso di errore. Questo per fare in modo di attirare l'attenzione dell'utente, che può aver maldestramente dimenticato di cambiare lo switch. A tale scopo, accanto all'usuale indicatore apparirà anche un indicatore a specificare lo stato disabilitato di tale dispositivo: "Disabled". Tale indicatore è normalmente impostato come non visibile attraverso il relativo Property Node all'inizio della schermata di controllo. In caso debba essere visibile, viene impostato come tale attraverso un altro Property Node.
  Il cluster di errore in questo caso passa inalterato, non influenzando lo svolgimento degli altri test.
- Se Disable Thermocouple assume valore FALSO(Input1 = 0).
  Effettua le normali operazioni di controllo.

2. Fase di acquisizione dati

Negli stati in cui vengono acquisiti i dati dai vari strumenti (640, 740) il valore della variabile Disable Thermocouple deve influenzare la lettura della termocoppia. Come si può vedere dalla Figura 4.20, attraverso una semplice case structure, in caso Disable Thermocouple assuma valore logico falso è effettuata la normale lettura della termocoppia. In caso Disable Thermocouple assuma invece valore logico vero, il valore

che verrà mostrato nel pannello frontale e scritto nel file di misure è impostato come "NaN", ed il cluster di errore resta inalterato.

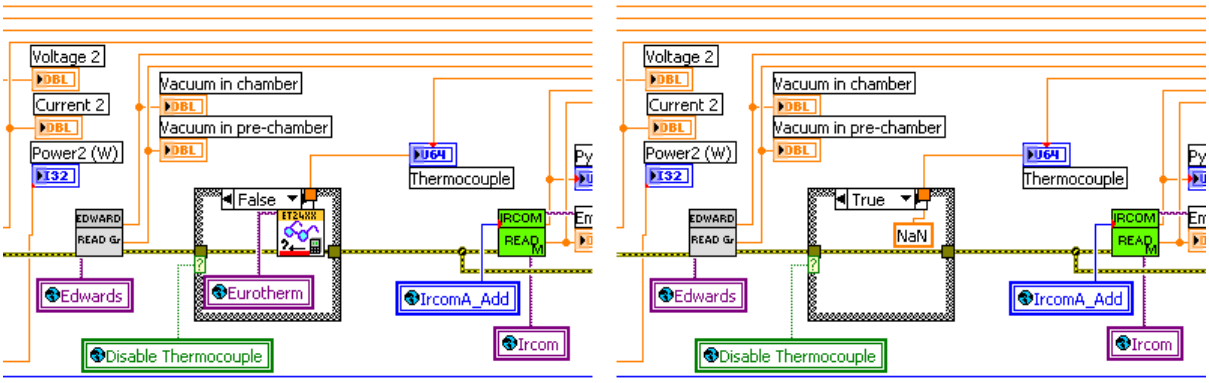


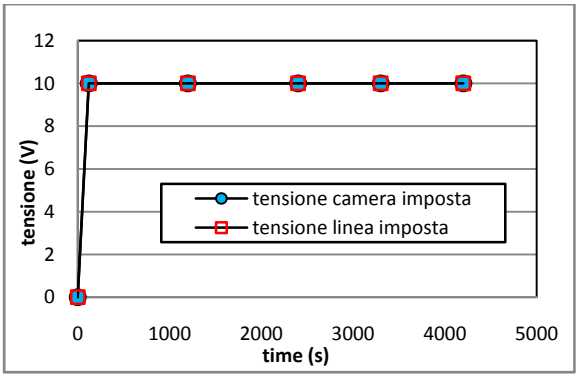
Figura 4.20 case 640-740: lettura dallo strumento, visualizzazione nel pannello frontale, scrittura nel file di misure nei casi vero e falso

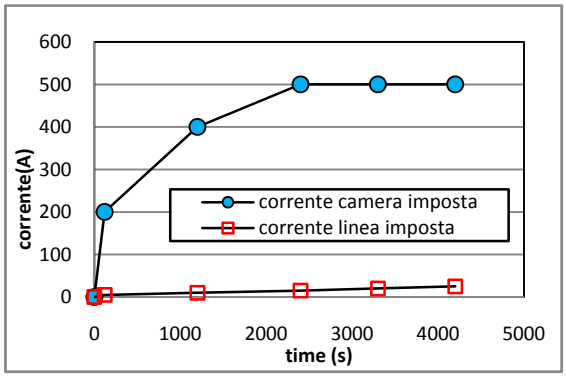
4.5 *Conclusioni*

Sono qui di seguito riportati i dati relativi all'esecuzione di Prototype_CFP_2_Lambda.vi sul forno destinato ai test termomeccanici. L'esecuzione è stata possibile, come desiderato, senza la presenza della termocoppia, attraverso l'impostazione dello switch Input1.

Time(s)	Tensione camera (V)	Corrente camera (A)	Tensione linea (V)	Corrente linea (A)
0	0	0	0	0
120	10	200	10	5
1200	10	400	10	10
2400	10	500	10	15
3300	10	500	10	20
4200	10	500	10	25

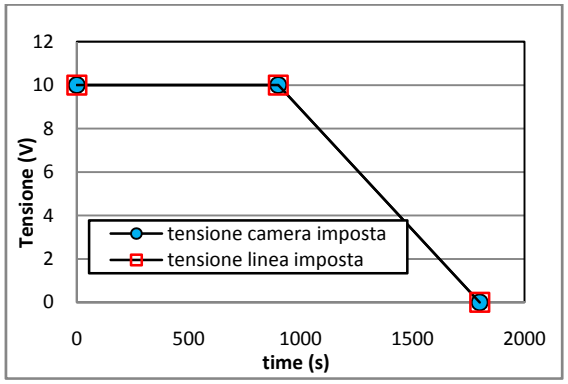
Rampa di Carburizzazione

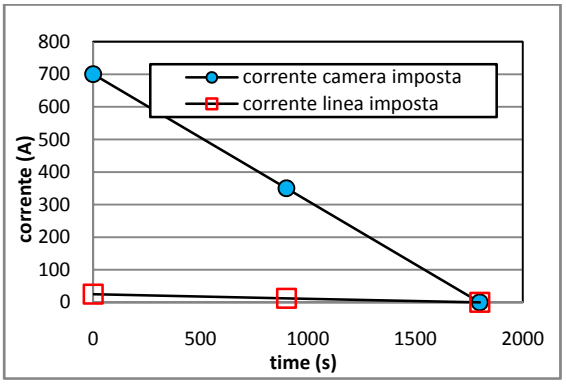




Time(s)	Tensione camera (V)	Corrente camera (A)	Tensione linea (V)	Corrente linea (A)
0	10	700	10	25
900	10	350	10	12,25
1800	0	0	0	0

Rampa di Rampdown

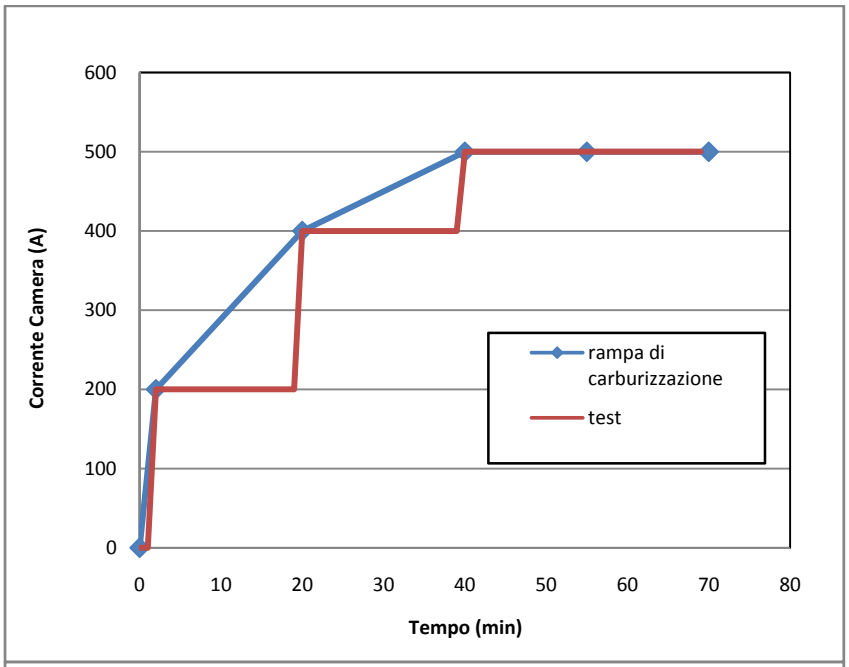


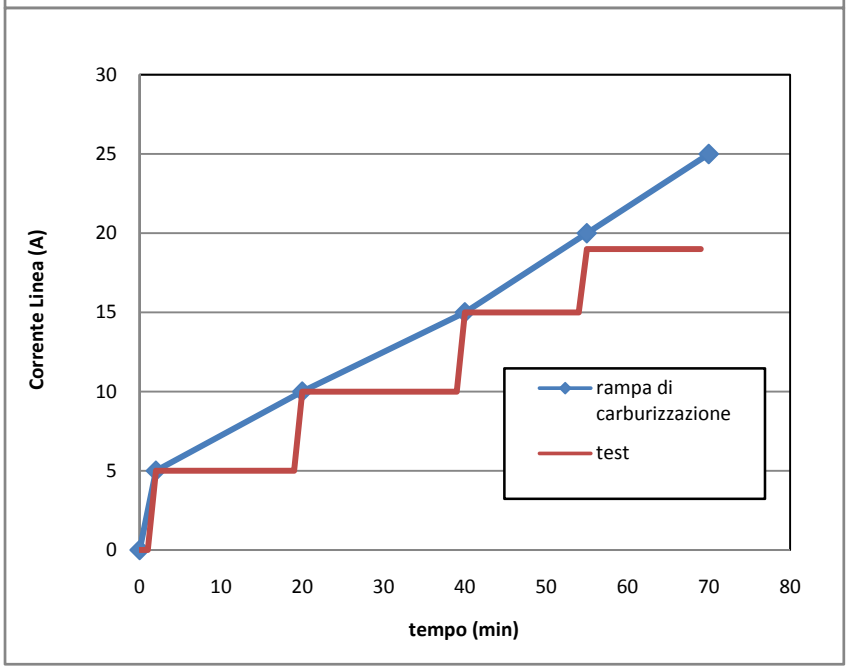


Time	Tensione Camera	Corrente Camera	Tensione Linea	Corrente Linea
10:41:03 06/24/2009	0	0	0	0
10:59:13 06/24/2009	0,45	200	0,01	5
11:19:15 06/24/2009	1,48	400	0,02	10
11:34:13 06/24/2009	2,12	500	0,03	15
11:49:13 06/24/2009	2,12	500	0,04	19
12:05:14 06/24/2009	1,14	350	0,03	12
12:06:14 06/24/2009	0	0	0	0

Stato del sistema al termine di ogni step , sia in fase di carburizzazione che in fase di rampdown. Nelle colonne relative alla linea, sono riportati i valori REALI, non quelli riportati nel file di misure

Andamento delle correnti in fase di carburizzazione:





Capitolo 5 - Sviluppo del sistema di controllo del Front End SPES

5.1 *Introduzione*

Come descritto nel Capitolo 3, il controllo dell'apparato Front-End avverrà su tre livelli:
1) Sicurezza primaria: segnali fondamentali gestiti da due PLC
2) Controllo e gestione dei processi mediante software EPICS
3) Monitoraggio dei processi, con lettura/scrittura di PV EPICS, attraverso software LabVIEW

L'interfaccia grafica LabVIEW è prevista per essere di più immediata interpretazione all'utente finale, non pratico di informatica, rispetto alla base EPICS cui si appoggia.
Il software richiesto deve rendere possibile il monitoraggio dell'intero progetto, nei vari sottosistemi che possono essere individuati:

- Target
- Front-End Radioattivo FE-R
  - Deflettore
  - Tripletto
- Front-End Protonico FE-P

In ogni sottosistema avvengono diversi processi. Tali sottosistemi devono operare contemporaneamente, in modo indipendentemente l'uno dall'altro, eccezion fatta nel caso si rilevi un errore critico per il sistema, caso in cui è necessario l'arresto di tutte le operazioni in corso.

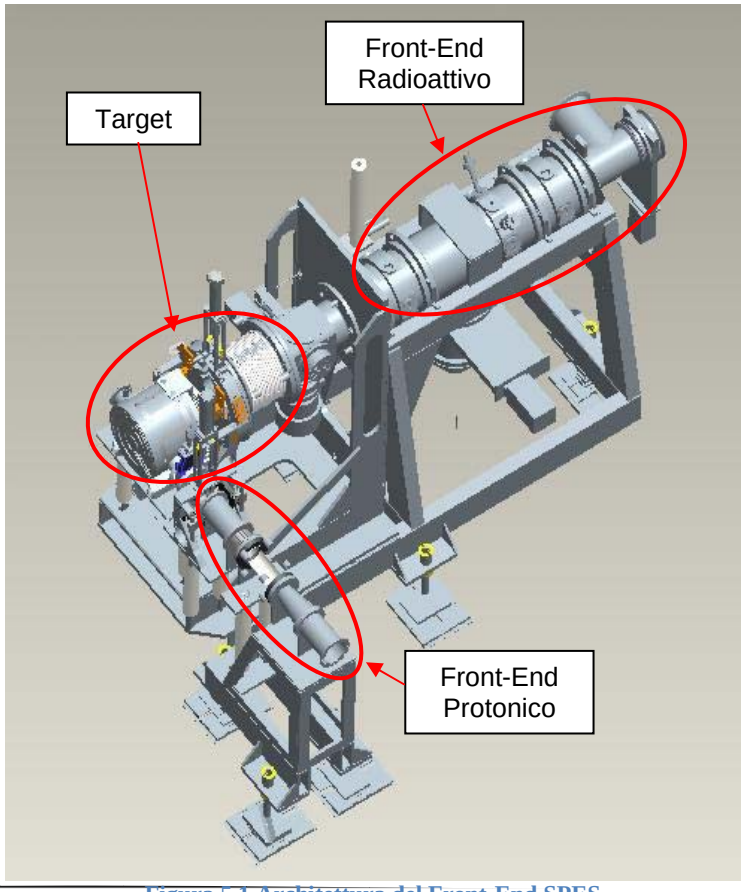


Figura 5.1 Architettura del Front-End SPES

5.2 *Realizzazione del software*

Il software richiesto, descritto in questo capitolo, è stato creato ed interamente realizzato durante l'esperienza di tirocinio.

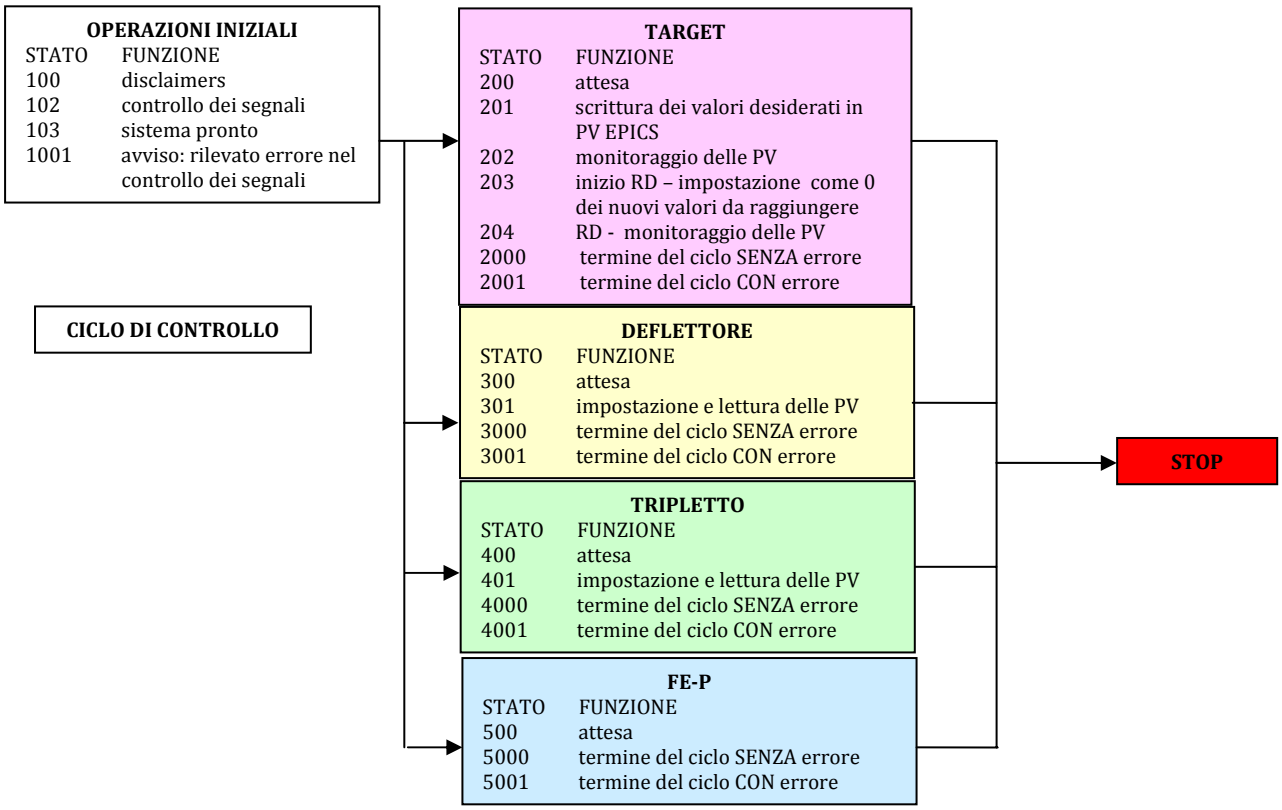
Il programma può essere suddiviso in due parti fondamentali: le verifiche di sicurezza e le impostazioni iniziali, e l'avvio vero e proprio dei processi dei vari sottosistemi. È importante inoltre garantire l'indipendenza di lavoro tra target, quadripolo, tripletto, FE-P.

Per tali motivi, il programma principale è stato impostato su cinque cicli sul modello della macchina di Moore, ed un ciclo di controllo che permette in ogni momento di passare di schermata in schermata.
Cicli-macchina di Moore:

1) Operazioni iniziali
2) Operazioni sul target
3) Operazioni sul quadripolo (parte del FE-R)
4) Operazioni sul tripletto (parte del FE-R)
5) Operazioni sul Front-End Protonico

Tutti questi cicli terminano in caso di selezione del pulsante di stop (stop button) presente sul Pannello Frontale, il quale porta all'azzeramento di tutte le variabili in uso, e alla chiusura di tutte le connessioni con gli strumenti, in modo di assicurare una maggiore sicurezza del sistema. A maggior ragione, tale operazione dev'essere svolta in tutti i cicli relativi ai sottosistemi in caso si riscontri un errore critico.

Nello schema sottostanti sono riportati la struttura del programma e gli specifici stati caratterizzanti ogni ciclo.


OPERAZIONI INIZIALI
STATO FUNZIONE
100 disclaimers
102 controllo dei segnali
103 sistema pronto
1001 avviso: rilevato errore nel controllo dei segnali
CICLO DI CONTROLLO
TARGET
STATO FUNZIONE
200 attesa
201 scrittura dei valori desiderati in PV EPICS
202 monitoraggio delle PV
203 inizio RD – impostazione come 0 dei nuovi valori da raggiungere
204 RD - monitoraggio delle PV
2000 termine del ciclo SENZA errore
2001 termine del ciclo CON errore
DEFLETTORE
STATO FUNZIONE
300 attesa
301 impostazione e lettura delle PV
3000 termine del ciclo SENZA errore
3001 termine del ciclo CON errore
TRIPLETTO
STATO FUNZIONE
400 attesa
401 impostazione e lettura delle PV
4000 termine del ciclo SENZA errore
4001 termine del ciclo CON errore
FE-P
STATO FUNZIONE
500 attesa
5000 termine del ciclo SENZA errore
5001 termine del ciclo CON errore
STOP

5.3 *Ciclo di controllo*

Il ciclo di controllo, operante fino al termine del programma, controlla continuamente il valore di pulsanti booleani presenti nelle varie schermate dell'interfaccia grafico, che permettono, se selezionati, di cambiare la schermata visibile.
A ciascuna di tali variabili è stata assegnata la proprietà meccanica "Latch when Pressed": tale proprietà permette che le variabili, dopo essere state selezionate e processate dal programma, tornino ad assumere il valore di default, in modo tale da non influenzare scelte future.
Come si può notare dalla Figura 5.2, ogni diversa schermata corrisponde a un diverso valore di "Tab Control".

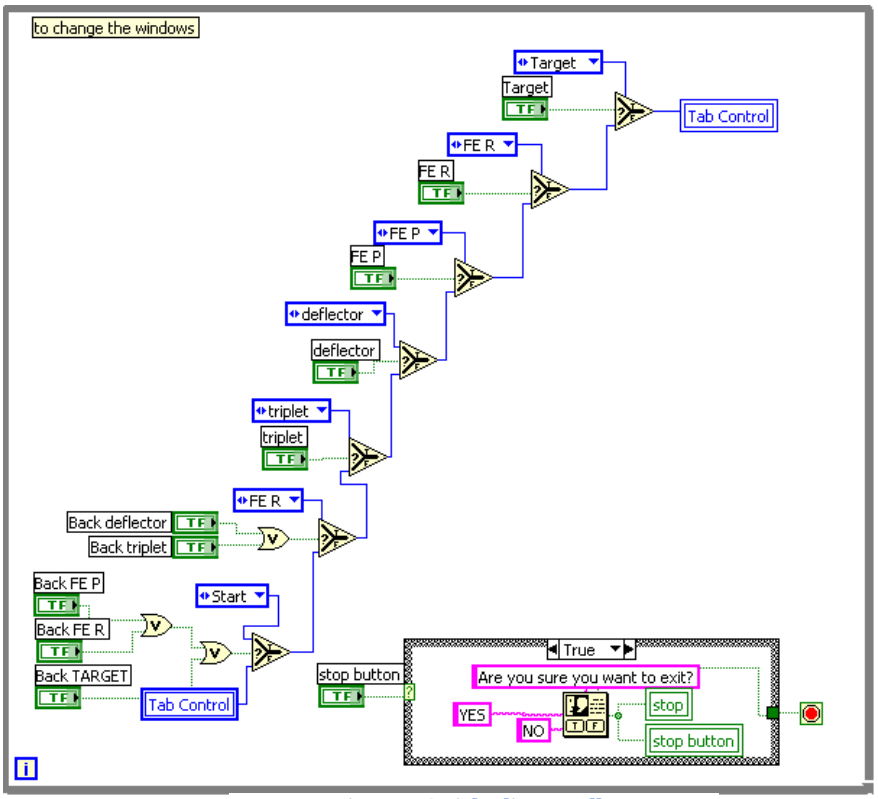


Figura 5.2 ciclo di controllo

Pulsante selezionato	Schermata Di Destinazione
Nessuno	Attuale (Tab Control)
Target	Target
FE-R	FE-R
FE-P	FE-P
Deflector	Deflector
Triplet	Triplet
Back Target Back FE-R Back FE-P	Schermata iniziale (Start)
Back Deflector Back Triplet	Menu principale del FE-R

Nella tabella riportata a fianco sono schematizzate le schermate di destinazione in seguito alla selezione di tutti i possibili pulsanti.

È importante notare che, come negli altri cicli, anche all'interno di questo ciclo è controllato il valore del pulsante "stop button". Anzi, proprio in quest'ambito è presente il controllo che porta alla chiusura dell'intero programma in seguito alla selezione dello "stop button".

5.4 *Uscita dal programma: stop button e controllori correlati*

Lo "stop button", pulsante selezionabile dal pannello frontale, permette di terminare tutti i cicli con l'azzeramento di tutte le variabili in uso, e di chiudere tutte le connessioni con gli strumenti.
Il suo valore può essere variato sia se selezionato da pannello frontale, sia se modificato dalla selezione di altri pulsanti che implicano l'uscita dal programma (come il pulsante di

Decline nel disclaimer iniziale, o l'Exit selezionabile in seguito ad un errore conseguito nel rilevamento delle condizioni di sicurezza iniziali).
Per evitare che la selezione accidentale dello stop button provochi il termine del programma, alla sua selezione è fatto seguire l'apparire di una finestra di domanda, in cui è chiesta una conferma riguardo l'operazione da eseguire. In caso si sia davvero deciso di terminare il processo, verrà modificata la variabile "stop", responsabile della chiusura di tutti i cicli. Tale funzione è svolta all'interno del ciclo di controllo(il particolare in Figura 5.3).

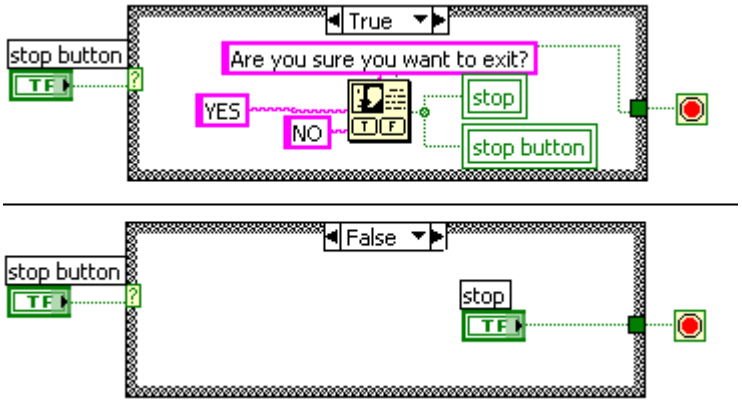


Figura 5.3 controllo dei pulsanti di stop

In Figura 5.4 è invece riportato uno stato del ciclo del deflettore, in cui è possibile vederne la modalità di chiusura.
I cicli relativi a target, tripletto, FE-P si comportano in maniera del tutto analoga.Tali cicli sono dotati di uno stato di chiusura in caso di rilevato errore. In questo stato si può entrare sia se l'errore si è verificato nello stesso ciclo, sia che si sia verificato nel ciclo relativo ad un altro sottosistema. A tal proposito, è posto un operatore OR tra lo stato del cluster d'errore del ciclo, e la variabile booleana "error occurred", che tiene traccia del presentarsi di errori in qualche ciclo. Essa, come si può constatare dall'immagine, è inizializzata come vera nello stato di chiusura con errore di ogni ciclo. Al termine di tutti i cicli, in caso sia dovuto al verificarsi di un errore, è necessario chiudere anche il ciclo di controllo, con l'impostazione della variabile "stop" come vera.

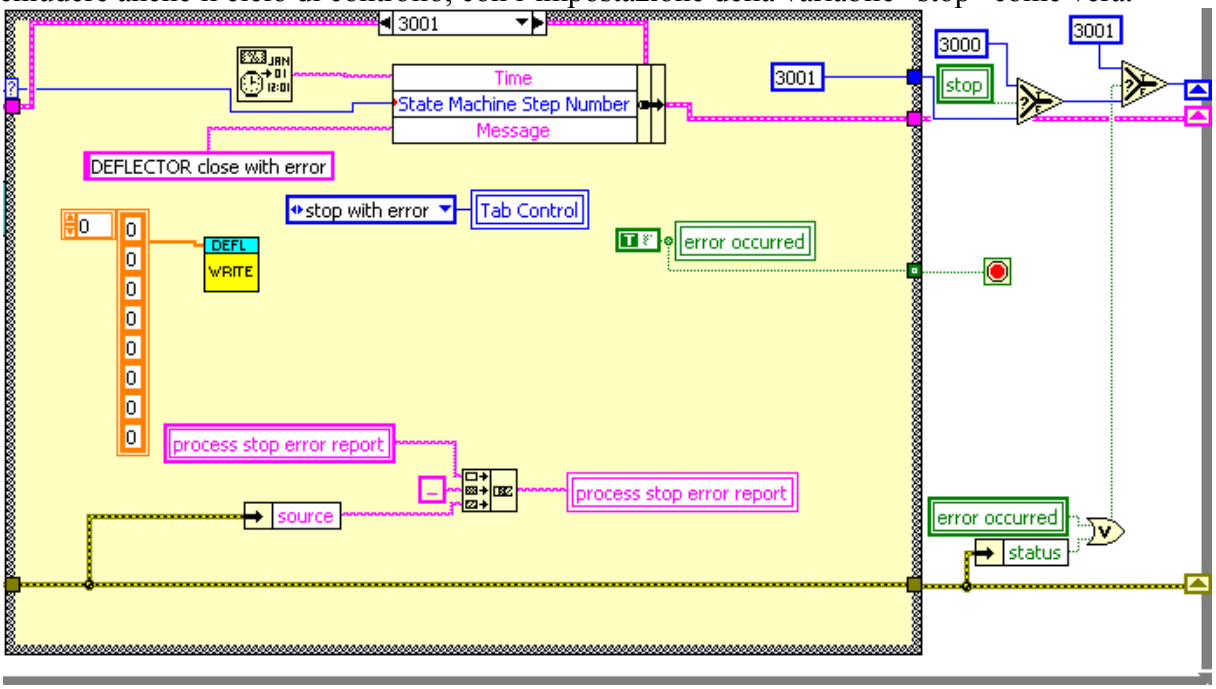


Figura 5.4 termine di un ciclo

Un altro metodo per terminare tutti i cicli, senza che il programma sia in errore, è tener conto della variabile "stop", impostata come vera solo in seguito ad una risposta

affermativa alla finestra di conferma di termine del programma. Se la variabile "stop" è impostata come vera, i cicli entrano nei relativi stati di chiusura normale, con conseguente azzeramento di tutte le variabili in uso e chiusura delle connessioni.

5.5 *Operazioni iniziali*

Le operazioni iniziali prevedono l'inizializzazione di alcune variabili, l'esecuzione di alcuni controlli di sicurezza e la creazione dei file di log e di misure. A tal proposito è utile introdurre lo StoreLogBookFE.vi.

OPERAZIONI INIZIALI	
STATO	FUNZIONE
100	disclaimers
102	controllo dei segnali
103	sistema pronto
1001	avviso: rilevato errore nel controllo dei segnali

5.5.1.1 StoreLogBookFE.vi

VI destinato a creazione e scrittura del file di log. È stato ripreso dal programma di gestione dei forni, con le adeguate modifiche.
La creazione avviene semplicemente nel percorso indicato come input. In questo caso, "D:\Logbook\"data_ora.txt".
La scrittura avviene in base al mappatore di ogni stato di ogni macchina di Moore: il cluster "Status", costituito dai campi Time, State Machine Number Step, e Message. Se stato precedente e successivo si equivalgono, non è necessario scrivere alcuna nuova informazione sul file di log. Se invece stato precedente e successivo non si equivalgono, in calce al file di log viene scritto il nuovo stato in esecuzione.

All'avvio del programma principale, viene visualizzata una schermata riportante una proiezione 3D del progetto SPES, ed una finestra di disclaim (corrispondente al case 100). In corrispondenza di questo stato, sono inoltre inizializzate alcune variabili, specialmente quelle booleane e quelle relative alla schermata visualizzata (i vari Tab Control).
In caso di accettazione delle condizioni di disclaimer, si procede al controllo dei segnali di abilitazione, relativi agli apparati di deflessione e tripletto (case 102). Tali segnali, elaborati dai PLC, indicano il passaggio di tutti i controlli dei segnali fondamentali all'avvio dei processi, quali: acqua, vuoto, stato del PLC, temperatura esterna alla camera, pressione dell'aria compressa, radiazioni gamma, ecc..
Il controllo è effettuato mediante interrogazione delle relative PV. È segnalato errore sia in caso di problemi di collegamento alla PV, sia in caso i segnali indagati non concedano l'abilitazione a procedere con il processo, cioè: sia se lo stato del cluster di errore è vero, sia se la variabile cercata assume valore 0. (0=errore, 1=regolarità)

Nell'eventualità che si riscontrino alcuni errori nel controllo dei segnali, viene visualizzata una schermata di avviso, in cui si può scegliere di effettuare nuovamente il controllo sui segnali, o uscire dal programma (case 1001).

In caso di successo nel controllo, sull'immagine del Front-End appaiono i pulsanti relativi a target, FE-R, FE-P, ed è dunque possibile procedere con questi processi. In questo stato

viene inizializzato lo stato iniziale di ogni macchina di Moore corrispondente ad ogni sottosistema, che si avvierà al termine del ciclo corrente (case 103), in seguito alla propagazione del cluster di errore. In questo stato sono inoltre creati i percorsi ed i file di misure relativi ad ogni sottosistema. Tali file, memorizzati come "D:\\MEASURES\SOTTOSISTEMA\sottosistema_data_ora.txt", sono creati e gestiti dal seguente subVI:

5.5.1.2 StoreMeasuresFE.vi

StoreMeasuresFE.vi è stato creato per la creazione e la scrittura dei file di misure per ogni sottosistema. Esso è analogo al VI utilizzato nel programma di gestione dei forni: sono state aggiunte alcune funzioni, per renderlo consono all'ambiente in cui è inserito.

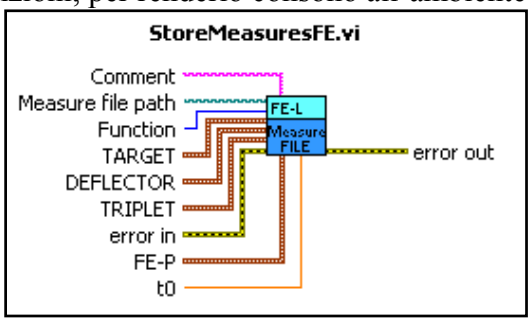


Figura 5.5 StoreMeasuresFE.vi - icona e connessioni

In ingresso riceve: indirizzo del file di misure relativo al sottosistema desiderato, e un numero indicante la funzione da eseguire. In caso si voglia fare utilizzo della funzione di scrittura, è necessario fornire come ingresso anche il cluster contenente le misure da scrivere.
Le funzioni eseguite dal VI sono:

CREAZIONE
- 20: creazione del file di misure del target
- 30: creazione del file di misure del deflettore
- 40: creazione del file di misure del tripletto
- 50: creazione del file di misure del FE-P

SCRITTURA
- 21: scrittura delle misure del target
- 31: scrittura delle misure del deflettore
- 41: scrittura delle misure del tripletto
- 51: scrittura delle misure del FE-P

- 100: aggiunta di un commento in calce al file

5.6 *Operazioni sul target*

Le operazioni che si devono effettuare sul target comprendono l'impostazione delle rampe da tastiera, la scrittura dei valori delle rampe nelle relative PV EPICS, il monitoraggio delle stesse nelle fasi di heating (valori delle rampe crescenti) e rampdown(valori delle rampe decrescenti).

Sono coinvolte diverse grandezze: la maggior parte di esse è costituita da correnti, anche molto elevate, con la funzione di riscaldamento del target per effetto joule. Esse sono le seguenti:

TARGET	
STATO	FUNZIONE
200	attesa
201	scrittura dei valori desiderati in PV EPICS
202	monitoraggio delle PV
203	inizio RD – impostazione come 0 dei nuovi valori da raggiungere
204	RD - monitoraggio delle PV
2000	termine del ciclo SENZA errore
2001	termine del ciclo CON errore

1) HEATER, 4 alimentatori in parallelo
Imax = 1320 A
V = 10 V
P = 14 kW

2) LINE, 3 alimentatori in parallelo
Imax = 660 A
V = 15 V
P = 9 kW

3) OWEN, un alimentatore
Imax = 110 A
V = 30 V
P = 3 kW

4) MAGNET, un alimentatore
Imax = 50 A
V = 30 V
P = 1,5 kW

5) ANODE (tensione), un alimentatore
Vmax = 300 V
I = 5 A
P = 1,5 kW

Un'ulteriore grandezza da considerare in questo sottosistema è inoltre la posizione dell'estrattore: essa viene impostata solamente da PLC, ed in LabVIEW può essere solamente monitorata.

Lettura delle rampe

Lo stato iniziale della macchina di Moore relativa al target (200) è uno stato di attesa input, visibile in caso si selezioni il pulsante che porta alla finestra del target. Qui è possibile inserire i valori di tensione e corrente da raggiungere, ed il tempo in cui farlo(Figura 5.6**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

È da notare (Figura 5.7) che alle stringhe seconds, minutes, hour, sono associati rispettivamente i valori 1, 60, 3600, cioè i valori che permettono la conversione in secondi di ogni unità di misura considerata.

Figura 5.6 target: impostazione da tastiera delle rampe

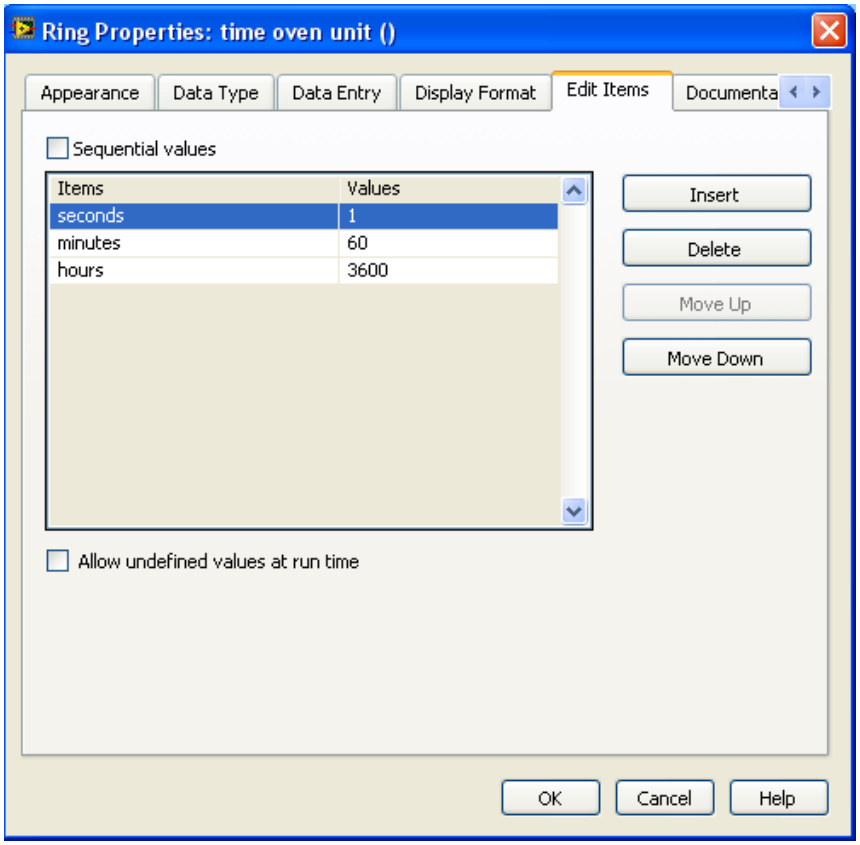


Figura 5.7 proprietà delle stringhe di unità di misura del tempo

Impostazione delle rampe

In seguito alla selezione del comando "OK", si procede allo stato successivo (201), in cui i valori appena inseriti da tastiera vengono memorizzati nelle relative variabili EPICS. L'operazione di scrittura nelle PV EPICS relative al target è effettuata dal seguente subVI:

5.6.1.1 TARGET– put desired inputs-epics.vi

Il VI TARGET – put desired inputs-epics.vi esegue l'operazione di impostare le variabili EPICS relative ai valori di rampa da raggiungere.

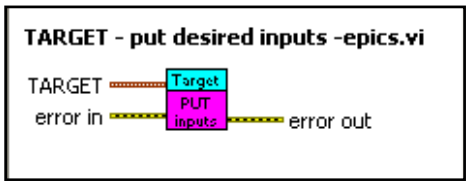


Figura 5.8 Target-put desider inputs-epics.vi: icona e connessioni

Dato in ingresso il cluster contenente le rampe da impostare (esattamente i controllori rappresentati in Figura 5.6), in questo vi viene organizzato in modo tale da ottenere un array di correnti/tensioni da raggiungere, ed un array di tempi (in secondi).
La scelta dell'organizzazione in array è data per la praticità che queste strutture presentano nell'utilizzo dei cicli for: ad ogni ciclo, l'i-esima tensione/corrente e l'i-esimo

tempo di rampa sono assegnati alle corrispondenti PV (i cui nomi sono anch'essi contenuti in array di stringhe).
In Figura 5.9 è rappresentato il diagramma a blocchi relativo a questo subVI.

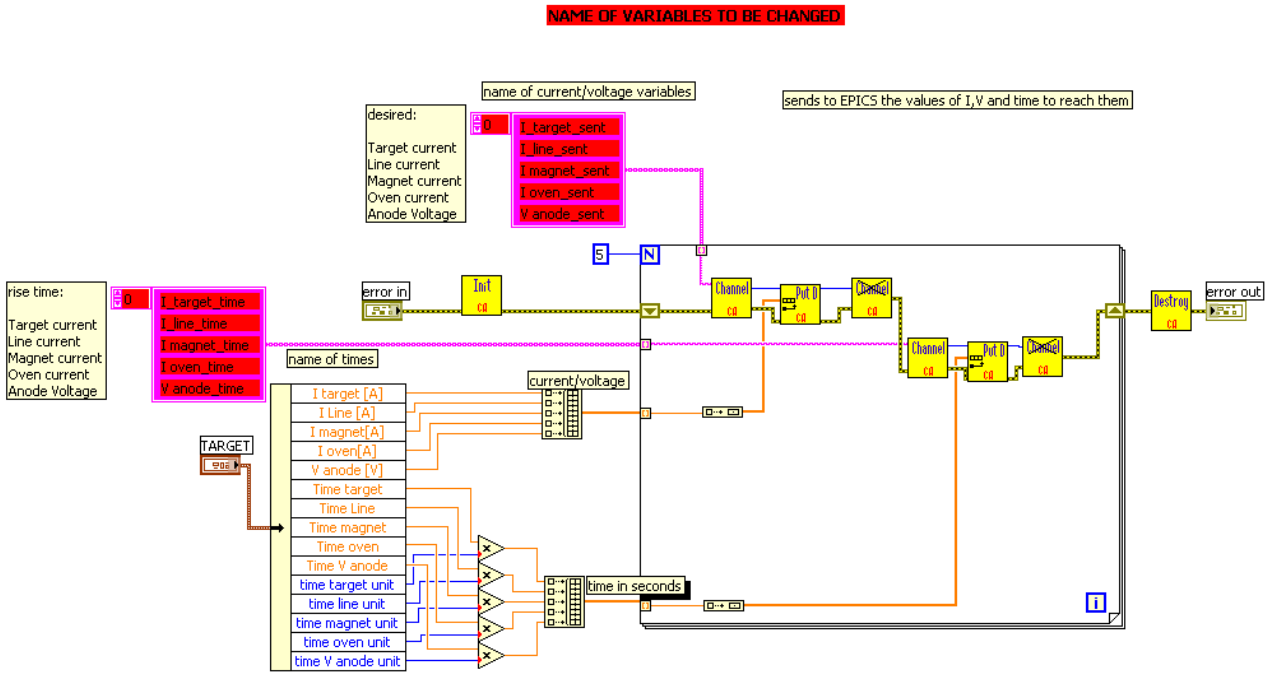


Figura 5.9 TARGET-put desired inputs-epics.vi: diagramma a blocchi

Heating

Nella fase di heating il sistema raggiunge gradualmente i valori impostati: ogni secondo, il programma EPICS invia agli alimentatori il comando di alzare il valore di corrente/tensione.
In questa fase (case 202), l'interfaccia LabVIEW si occupa solamente del monitoraggio di tali valori nel tempo, attraverso l'interrogazione delle relative PV. Quest'operazione è effettuata dal seguente subVI:

5.6.1.2 TARGET– receive-epics.vi

TARGET – receive – epics.vi è responsabile della lettura delle variabili EPICS relative alle grandezze coinvolte nel riscaldamento del target.

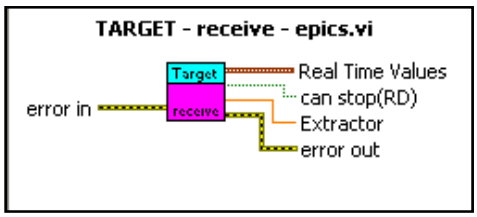


Figura 5.10 TARGET - receive - epics.vi: icona e connessioni

Con il principio spiegato precedentemente per il VI TARGET – put desired inputs-epics.vi, attraverso l'utilizzo di un ciclo for vengono monitorati i valori di tutte le PV i cui nomi sono contenuti in un array di stringhe. In uscita dal ciclo for si ottiene un array contenuti i valori letti da ogni singola PV.

Con l'utilizzo prima di index array, ogni elemento di quest'array viene estratto; in seguito, con un bundle per il cluster ogni elemento è inserito all'interno del cluster "RealTimeValues", fornito come output di questo VI, e visualizzato sul pannello frontale del programma principale, sia numericamente che graficamente. L'unico elemento che non è inserito in questo cluster è l'indicatore della posizione dell'estrattore, separato dalle altre variabili.
In Figura 5.11 è rappresentato il diagramma a blocchi del VI.

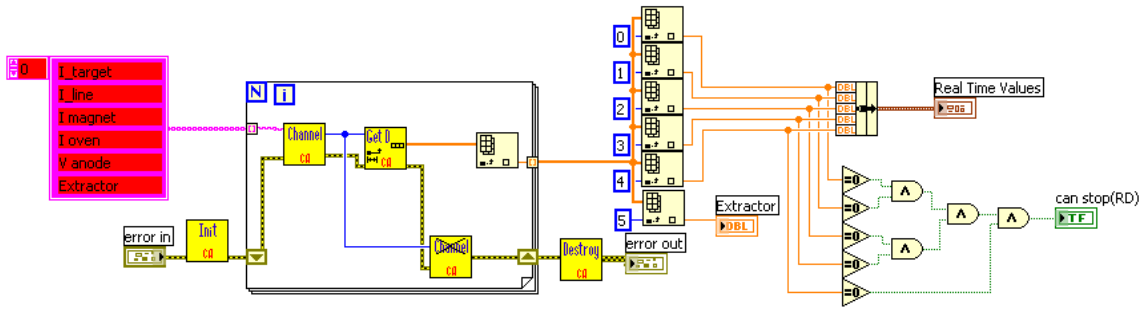


Figura 5.11 TARGET - receive - epics: diagramma a blocchi

In Figura 5.12 è invece rappresentato il particolare del pannello frontale, relativo allo stadio di monitoraggio delle variabili del target, in fase di heating.

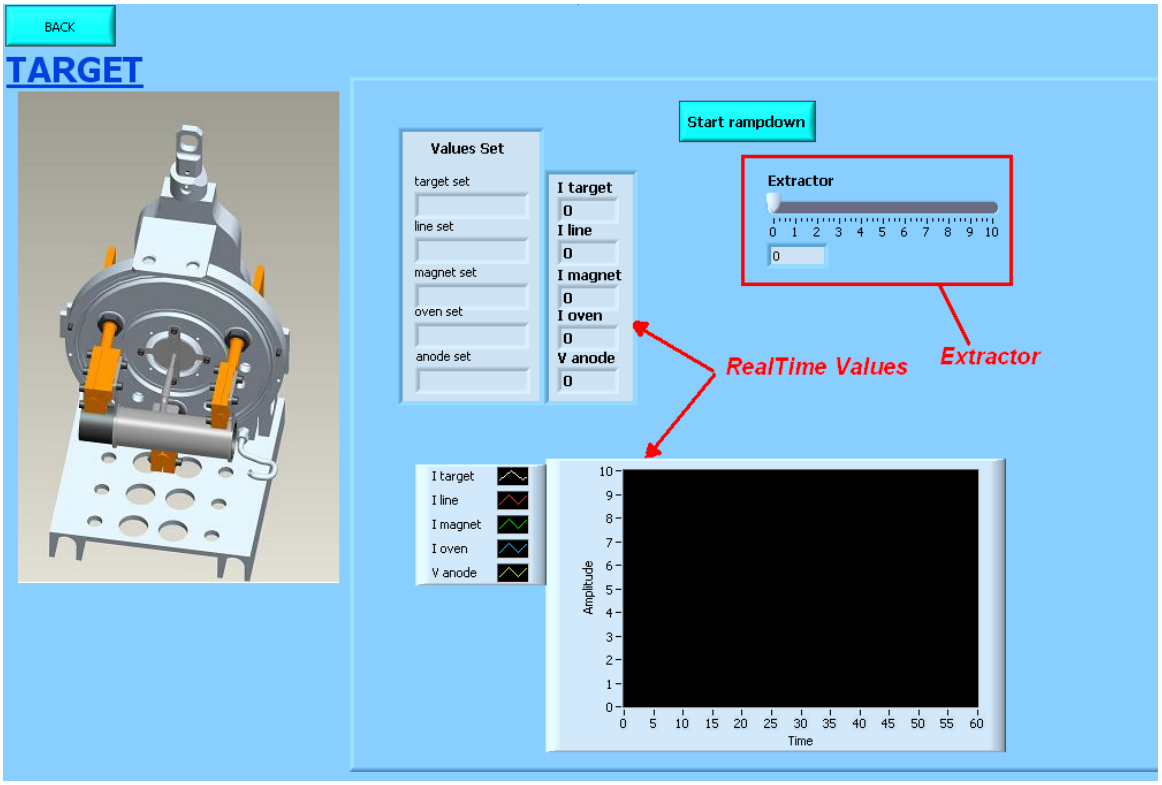


Figura 5.12 pannello frontale del programma principale

L'ultima variabile in uscita restituita da questo subVI è la variabile booleana "can stop(RD)". Essa assume valore vero sono nel caso in cui tutte le correnti e tensioni nel target siano nulle. Nel programma principale è utilizzata solo in fase di rampdown, per permettere il termine del ciclo

Rampdown
Si entra nello stato di rampdown attraverso la selezione del relativo pulsante sul pannello frontale. In questa fase è previsto il ritorno a zero di tutte le variabili, con pendenza inversa a quella dell'heating.
Si devono quindi impostare nuovamente le variabili EPICS relative ai valori di rampa da raggiungere, richiamando il TARGET – put desired inputs – epics.vi,(case 203) e continuare a monitorare l'andamento dei valori nel tempo con il TARGET – receive - epics.vi (case 204).

Al termine di questa operazione, quando cioè tutte le correnti e le tensioni sono tornate a 0, e quindi la variabile "can stop(RD)" ricevuta in uscita dal TARGET – receive – epics.vi assume valore vero, si entra nello stato del target relativo alla chiusura senza errore (2000). A questo punto, il ciclo target termina, e nella relativa pagina è visualizzato il messaggio indicante il successo nell'operazione.

5.7 *Operazioni sul deflettore*

DEFLETTORE	
STATO	FUNZIONE
300	attesa
301	impostazione e lettura delle PV
3000	termine del ciclo SENZA errore
3001	termine del ciclo CON errore

Le operazioni sul deflettore prevedono l'impostazione ed il monitoraggio di tensione e corrente su quattro canali, per la regolazione, mediante EPICS, di otto alimentatori unipolari.
Ogni canale è controllato da due tensioni aventi lo stesso modulo, ma segno opposto, e da due correnti ugualmente aventi lo stesso modulo, ma segno opposto.
Ogni canale inoltre dipende dallo stato del relativo switch: se attivato, fa illuminare il corrispondente indicatore, e permette di impostare tensione e corrente sul canale, altrimenti queste due variabili restano a zero.

È prevista inoltre la presenza di un indicatore transitorio/regime: variabile booleana di valore falso quando in transitorio, vero quando a regime. Indica se il valore attuale di tensione impostata corrisponde al valore precedente.
In Figura 5.13 è rappresentata parte del pannello frontale della finestra relativa al deflettore: sono ben distinguibili i quattro canali, con relativi switch, indicatori, e controllori di tensione e corrente.

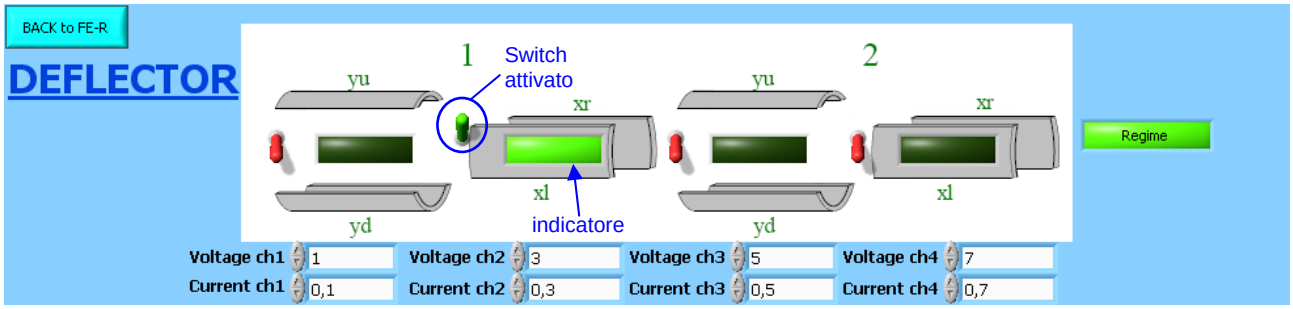


Figura 5.13 particolare del pannello frontale del deflettore

Per la realizzazione mediante macchina a stati, si permane nello stato iniziale (300) fino al momento in cui non viene attivato uno switch. In seguito alla prima attivazione di

switch, si procede alla scrittura delle PV relative ai valori da impostare negli alimentatori(case 301, Figura 5.14): se lo switch relativo è spento, si scrive 0, se acceso, si scrive il valore impostato. Tutti i valori da impostare vengono raggruppati in un unico array, e dati in ingresso ad un subVI specifico: DEFLECTOR – write.vi.
In seguito alla scrittura è prevista la lettura di tutte e sedici le variabili relative a tensioni e correnti degli alimentatori. A questo scopo si ricorre al subVI DEFLECTOR – read voltage.vi.

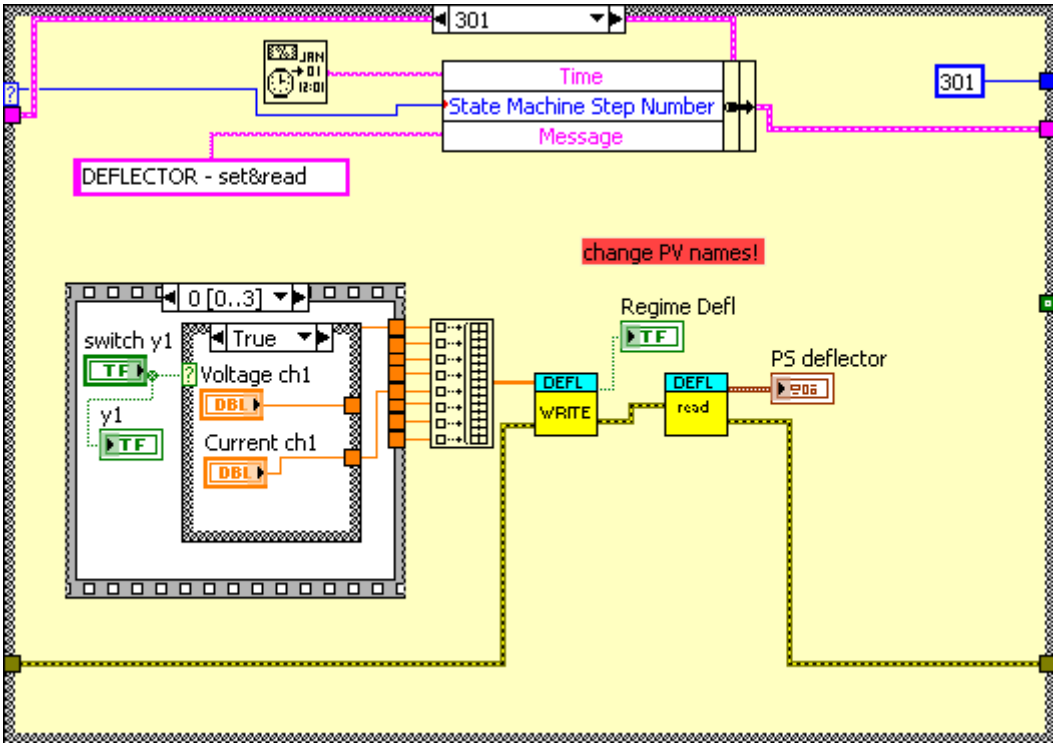


Figura 5.14 Deflettore, case 301

Il ciclo del deflettore continua ad eseguire queste operazioni fino al selezionamento del pulsante "stop button", o fino al rilevamento di un errore critico. In entrambi i casi (3000, 3001), si ricorre al Deflector – write.vi per impostare a zero tutti i canali.

5.7.1.1 DEFLECTOR – write.vi

Dato in ingresso un array contenente i valori di tensione e corrente da impostare nei vari alimentatori, DEFLECTOR – write.vi scrive tali valori nelle relative PV EPICS.

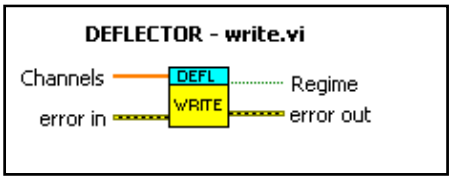


Figura 5.15 DEFLECTOR - write.vi: icona e connessioni

Utilizzando un ciclo for, con variabili l'array di valori da impostare e l'array dei nomi delle PV relative, ad ogni PV viene assegnato il suo corrispondente valore.

Ciò avviene solo nel caso che il valore attuale della variabile e quello da impostare non coincidano. In queste condizioni, inoltre, la variabile "Regime", indicatrice dello stato transitorio/regime viene impostata come falsa, indicando quindi una fase di transitorio.
In Figura 5.16 è riportato il diagramma a blocchi relativo al subVI descritto

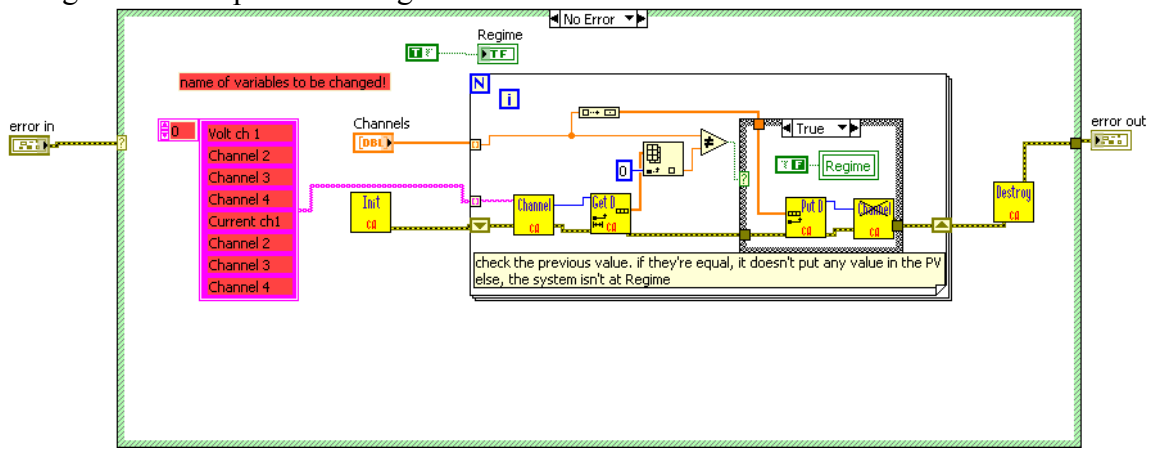


Figura 5.16 DEFLECTOR - write.vi - diagramma a blocchi

5.7.1.2 DEFLECTOR – read voltage.vi

DEFLECTOR – read voltage.vi interroga le PV relative ad ogni singolo canale degli alimentatori.

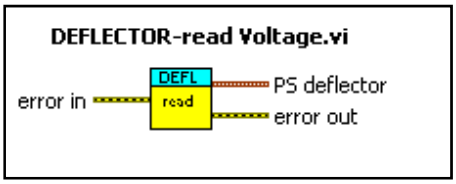


Figura 5.17 DEFLECTOR - read voltage.vi: icona e connessioni

Per fare ciò, è utilizzata l'interrogazione attraverso un ciclo for di tutte le PV il cui nome è specificato all'interno di un array.
Le uscite sono unite nel cluster di indicatori "PS deflector", e visualizzate nel pannello frontale del programma principale(Figura 5.19), oltre ad essere scritte nel file di misure.
In Figura 5.18 è riportato il diagramma a blocchi relativo al subVI.

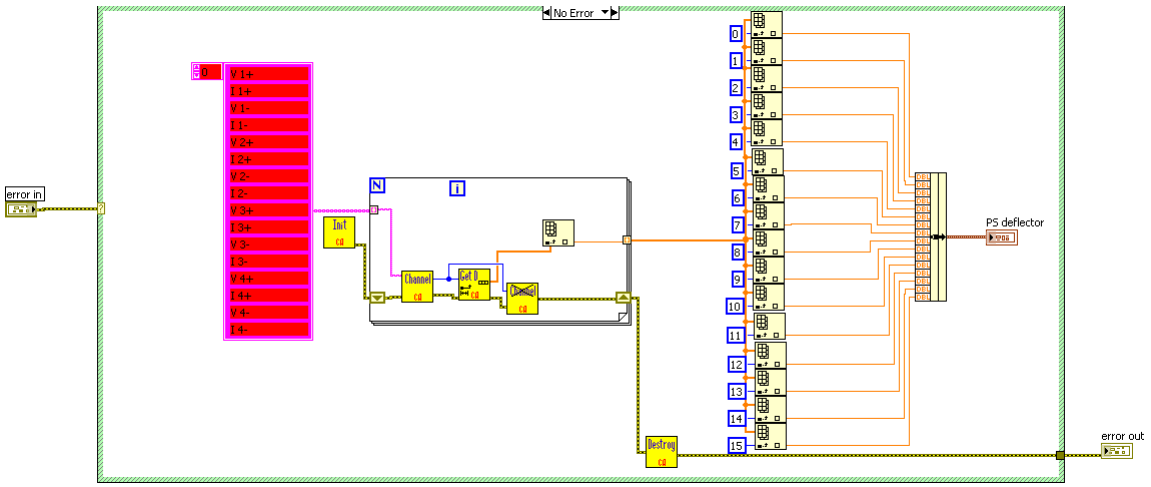


Figura 5.18 DEFLECTOR - read Voltage: diagramma a blocchi

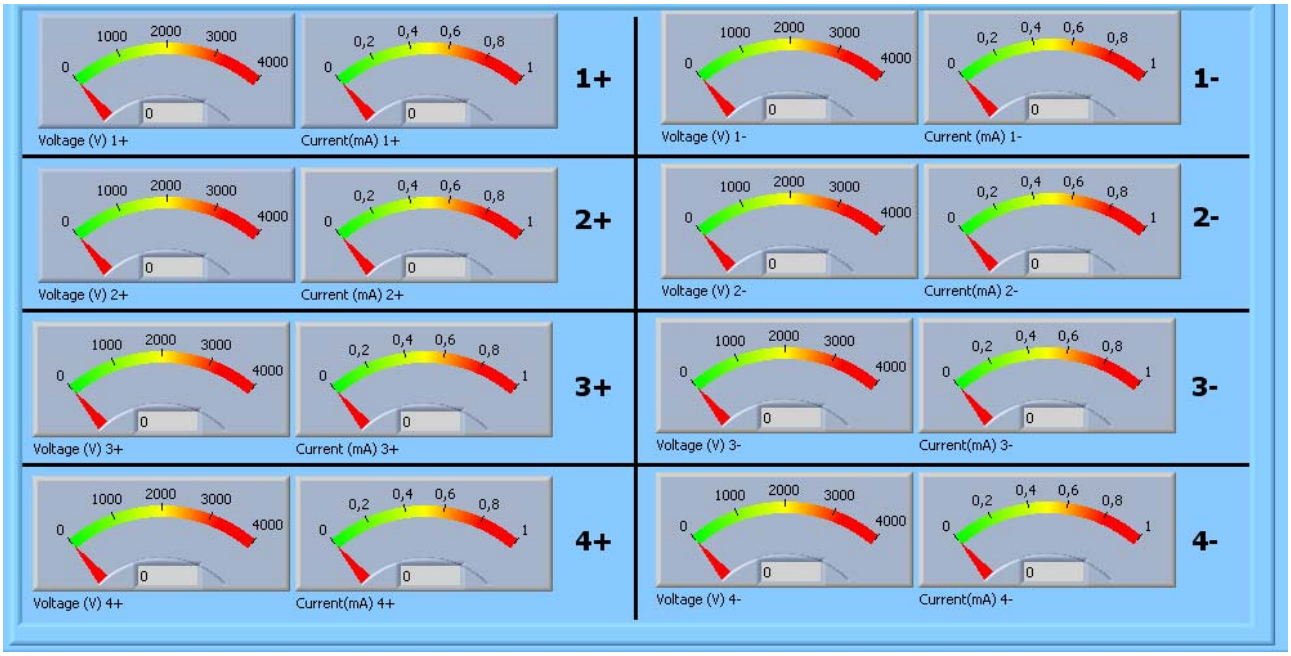


Figura 5.19 pannello frontale, particolare: PS deflector

5.8 *Operazioni sul tripletto*

Le operazioni sul tripletto sono strutturalmente molto simili a quelle realizzate sul deflettore. La differenza nella programmazione è soltanto nel disporre di tre canali anziché quattro. Il ciclo è dunque analogo al precedente: si avranno analogamente anche i subVI TRIPLET-write.vi e TRIPLET-read.vi.

TRIPLETTO	
STATO	FUNZIONE
400	attesa
401	impostazione e lettura delle PV
4000	termine del ciclo SENZA errore
4001	termine del ciclo CON errore

5.9 *Operazioni sul Front-End Protonico*

Non è ancora stato definito come opererà questa struttura. Riguardo ad essa è stato quindi unicamente predisposto il ciclo corrispondente, in vista dell'inserimento futuro delle relative funzioni.

FE-P	
STATO	FUNZIONE
500	attesa
5000	termine del ciclo SENZA errore
5001	termine del ciclo CON errore

5.10 *Conclusioni*

Il monitoraggio e la modifica di PV EPICS attraverso un'interfaccia di memoria condivisa con LabVIEW è già possibile, e verificato. Il software che è stato descritto in questo capitolo sarà testato sul sistema completo nel mese di Settembre.
Per tale data si prospetta sia possibile definire i nomi definitivi per le PV utilizzate nel processo. Essi potranno essere inseriti dove specificato all'interno del software.

Bibliografia

1. **M.Manzolaro.** *Analisi termica e strutturale del bersaglio diretto per la produzione di fasci radioattivi per il progetto SPES, Tesi di Laurea Specialistica.* Università degli Studi di Padova : s.n., a.a. 2006-2007.

2. **G.Diavola.** *Fasci di ioni radioattivi ai Laboratori Nazionali del Sud dell'INFN: il progetto EXCYT.* s.l. : Il Saggiatore, 1999.

3. **M.Lindroos.** *of ISOL-type radioactive beam facilities.* s.l. : EPAC, 2004.

4. [Online] http://www.ganil.fr/eurisol/EURISOLlinks.html.

5. **A.Andrighetto.** *The SPES Project At LNL.* AIP (American Institute of Physics) : s.n., 2009.

6. **G. Meneghetti, M. Manzolaro, A. Andrighetto.** *Design of the SPES Target Heating System: theoretical analyses and comparison with experimental data.* TCN CAE : s.n., 2008.

7. **G. Prete, A. Covello.** SPES Technical Design Report. [Online] 2008. http://www.lnl.infn.it/~spes/TDR2008/tech_design08_index.htm.

8. *Radioactive isotopes in solid state physics.* **Deicher, M.** 3, s.l. : Europhysics News, 2002, Vol. 33.

9. [Online] http://wikipedia.org.

10. **A Pisent, P. Colautti, J Esposito, L. De Nardo, V. Conte, D. Agosteo, G. Jori, P.A. Posocco, L.B. Tecchio, R. Tinti, G. Rosi.** Progress on the accelerator based SPES-BNCT project at INFN Legnaro. *Journal of Physics: Conference Series.* 2006, Vol. Volume 41.

11. *APPLICAZIONI DI FISICA NUCLEARE IN RADIOTERAPIA E DIAGNOSTICA MEDICA.* **Tinti, R.** C.R. Casaccia : s.n., 2003.

12. **Agosteo S, et al.** *Advances in the INFN-Legnaro BNCT Project for Skin Melanoma. Proc. of Int. Physical and Clinical Workshop on BNCT Candiolo (Torino).* February 7, 2001.

13. **Kirchner, R.** *Nucl. Inst. Meth. B 126, 135–140.* 1997.

14. **Zhang, Y.** *Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. A, 521, 72–107.* 2004.

15. **Alton, G. D.** *Applied Radiation and Isotopes, 64, 1574–1603.* 2006.

16. **Lau, C.** *Nucl. Instr. Meth. in Phys. Res. B, 204, 246-250.* 2003.

17. **Stracener, D.W.** *Nucl. Instr. Meth. in Phys. Res. A, 521, 126–135.* 2004.

18. *Manuale D'installazione, Uso e Manutenzione Forno Per Trattamenti Termici ad Alto Vuoto.* 2007.

19. **L. Costa, M. Giacchini, R. Izsák, J. Vásquez, E. Bindi, M. Montis, A. Andrighetto, G. Bassato, P. Benetti, L. Biasetto, M. Manzolaro, B. Monelli, R. Oboe, G. Prete, D. Scarpa.** *Control system developments for the SPES project.* 2009.

20. *Corso LabVIEW per la preparazione all'esame CLAD.* s.l. : National Instrument Italy, 2005.

21. **Blokland, D. Thompson and W.** *A Shared Memory Interface Between LabView and EPICS.* ORNL, Oak Ridge, TN, USA : s.n., 2003.

22. *Network Attached Devices pp 151-153.* **W. Blokland, T. Shea, M. Stettler.** Mainz, Germany : DIPAC2003, May 5-7, 2003.

23. **M.Zavagnin.** *Modellazione solida e sviluppo dell'apparato di misura di conducibilità termica per il progetto SPES, Tesi di Laurea Triennale.* Università degli Studi di Padova : s.n., a.a. 2008-2009.